

পদার্থ বিজ্ঞান পরিচয়

চিত্তরঞ্জন দাশগুপ্ত





ভারতীয় সংবিধান প্রস্তাবনা

“আমরা, ভারতের জনগণ, ভারতকে সার্বভৌম, সমাজতান্ত্রিক, ধর্মনিরপেক্ষ, গণতান্ত্রিক, সাধারণতন্ত্র রূপে গড়ে তুলতে এবং তার সকল নাগরিকই যাতে সামাজিক, অর্থনৈতিক ও রাজনৈতিক ন্যায়বিচার, চিন্তা, মতপ্রকাশ, বিশ্বাস, ধর্ম এবং উপাসনার স্বাধীনতা, সামাজিক প্রতিষ্ঠা অর্জন ও সুযোগের সমতা প্রতিষ্ঠা এবং তাদের সকলের মধ্যে ব্যক্তির মর্যাদা এবং জাতীয় ঐক্য ও সংহতি সুনিশ্চিতকরণের মাধ্যমে তাদের মধ্যে যাতে ভ্রাতৃত্বের ভাব গড়ে ওঠে তার জন্য সত্যানিষ্ঠার সঙ্গে শপথ গ্রহণ করে, আমাদের গণপরিষদে আজ, ১৯৪৯ সালের ২৬শে নভেম্বর, এতদ্বারা এই সংবিধান গ্রহণ, বিধিবদ্ধ এবং নিজেদের অর্পণ করছি।”

ভারতীয় নাগরিকের মৌলিক অধিকার

(ভারতীয় সংবিধান, ধারা ১৪-৩০, ৩২ ও ২২৬)

১। সাম্যের অধিকার

- আইনের দৃষ্টিতে সবাই সমান এবং আইন সকলকে সমানভাবে রক্ষা করবে।
- জাতি, ধর্ম, বর্ণ, নারী-পুরুষ, জন্মস্থান প্রভৃতি কারণে রাষ্ট্র কোনো নাগরিকের সঙ্গে বৈষম্যমূলক আচরণ করবে না।
- সরকারি চাকরির ক্ষেত্রে যোগ্যতা অনুসারে সকলের সমান অধিকার।
- অস্পৃশ্যতা নিষিদ্ধ এবং আইন অনুসারে দণ্ডনীয় অপরাধ।

২। স্বাধীনতার অধিকার

- বাক-স্বাধীনতা ও মতামত প্রকাশের অধিকার।
- শান্তিপূর্ণ ও নিরস্ত্রভাবে সমবেত হওয়ার অধিকার।
- সংঘ ও সমিতি গঠনের অধিকার।
- ভারতের সর্বত্র স্বাধীনভাবে চলাফেরা করার অধিকার।
- ভারতের যে-কোনো স্থানে স্বাধীনভাবে বসবাস করার অধিকার।
- যে-কোনো জীবিকা, পেশার বা ব্যাবসা-বাণিজ্য করার অধিকার।
- জীবন ও ব্যক্তিগত স্বাধীনতার অধিকার।

৩। শোষণের বিরুদ্ধে অধিকার

- কোনো ব্যক্তিকে ক্রয়, বিক্রয় করা বা বেগার খাটানো যাবে না।
- চোদ্দো বছরের কমবয়স্ক শিশুদের খনি, কারখানা বা অন্য কোনো বিপজ্জনক কাজে নিযুক্ত করা যাবে না।

৪। ধর্মীয় স্বাধীনতার অধিকার

- সকল ব্যক্তিই সমানভাবে বিবেকের স্বাধীনতা অনুসারে ধর্মস্বীকার, ধর্মাচরণ এবং ধর্ম প্রচারের স্বাধীনতা ভোগ করবে।

❁ কোনো বিশেষ ধর্ম বা সম্প্রদায়ের প্রসার বা রক্ষণাবেক্ষণের জন্য কোনো সম্প্রদায় বা ব্যক্তিকে কর দিতে বাধ্য করা যাবে না।

❁ রাষ্ট্র পরিচালিত শিক্ষা প্রতিষ্ঠানে ধর্মশিক্ষা সম্পূর্ণ নিষিদ্ধ।

৫। সংস্কৃতি ও শিক্ষা-বিষয়ক অধিকার

❁ সকল শ্রেণির নাগরিক নিজস্ব ভাষা, লিপি ও সংস্কৃতির বিকাশ ও সংরক্ষণ করতে পারবে।

❁ রাষ্ট্র পরিচালিত বা সরকারি সাহায্যপ্রাপ্ত কোনো শিক্ষা-প্রতিষ্ঠানে শিক্ষালাভের ক্ষেত্রে কোনো ব্যক্তিকে ধর্ম, জাতি বা ভাষার অজুহাতে বঞ্চিত করা যাবে না।

❁ ধর্ম অথবা ভাষাভিত্তিক সংখ্যালঘু সম্প্রদায়গুলি নিজেদের পছন্দমতো শিক্ষা-প্রতিষ্ঠান স্থাপন ও পরিচালনা করতে পারবে।

৬। মৌলিক অধিকার রক্ষা-বিষয়ক

❁ মৌলিক অধিকারগুলি বলবৎ ও কার্যকর করার জন্য নাগরিকরা সুপ্রিমকোর্ট ও হাইকোর্টের কাছে আবেদন করতে পারবে—প্রয়োজনে বিশেষ লেখ (Writ) জারি করতে পারবে : হেবিয়াস কর্পাস (Habeas Corpus), ম্যান্ডামাস (Mandamus), সারশিওরারি (Certiorari), প্রহিবিশান (Prohibition) ও কুয়ো ওয়ারান্টো (Quo-Warranto)।

মৌলিক কর্তব্য

(ভারতীয় সংবিধান, ধারা ৫১এ)

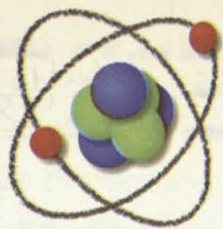
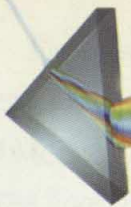
- ১। সংবিধানের প্রতি আনুগত্য, সাংবিধানিক আদর্শ ও প্রতিষ্ঠান, জাতীয় পতাকা ও জাতীয় সংগীত সম্পর্কে শ্রদ্ধাবোধ।
- ২। মহৎ যেসব আদর্শ স্বাধীনতা সংগ্রামে আমাদের উদ্বুদ্ধ করেছে তাদের লালন ও অনুসরণ।
- ৩। ভারতের সার্বভৌমত্ব, ঐক্য ও সংহতি রক্ষা।
- ৪। আহ্বান এলে দেশরক্ষা ও জাতির সেবায় আত্মনিয়োগ করা।
- ৫। ভাষা-ধর্ম-অঙ্গুল-শ্রেণি নির্বিশেষে ভারতের জনগণের মধ্যে পারস্পরিক ঐক্যচেতনা ও দ্রাতৃবোধ উদ্‌বোধন।
- ৬। দেশের মিশ্র সংস্কৃতির মূল্যবান উত্তরাধিকারের মাহাত্ম্য উপলব্ধি ও সংরক্ষণ।
- ৭। অরণ্য, হ্রদ, নদনদী, বন্যজীবনসহ প্রাকৃতিক পরিবেশ রক্ষণ ও উন্নয়ন এবং প্রাণীজগতের প্রতি সহানুভূতি পোষণ।
- ৮। বিজ্ঞানমনস্কতা, মানবতাবাদ, অনুসন্ধান ও সংস্কারের বিকাশ।
- ৯। সরকারি সম্পত্তি রক্ষা করা ও হিংসা পরিহার করা।
- ১০। জাতি যাতে নিয়ত তার কর্মোদ্যম ও সাফল্যের উচ্চতর স্তরে পৌঁছাতে পারে, জীবনের সর্বক্ষেত্রে ব্যক্তিগত ও সমবেত প্রয়াসে উৎকর্ষের সেই লক্ষ্যে পৌঁছানোর প্রচেষ্টা।
- ১১। পিতা-মাতা/অভিভাবকের দায়িত্ব ৬-১৪ বছর বয়স্ক শিশুদের শিক্ষার সুযোগের ব্যবস্থা করা।



বিভিন্ন জয়েন্ট এন্ট্রান্স, প্রতিযোগিতামূলক পরীক্ষা ও +2 পাঠক্রমের ছাত্রছাত্রীদের জন্য রচিত।

পদার্থ বিজ্ঞান পরিচয়

দ্বিতীয় ভাগ



অধ্যাপক চিত্তরঞ্জন দাশগুপ্ত এম.এস্-সি.

কলকাতা সিটি কলেজের পদার্থ বিজ্ঞানের প্রাক্তন প্রধান অধ্যাপক;
'মাতক পদার্থ বিজ্ঞান', 'ব্যবহারিক পদার্থ বিজ্ঞান', 'মাতক ব্যবহারিক পদার্থ বিজ্ঞান',
'A Handbook of Degree Physics', 'প্রাকৃতিক বিজ্ঞান' প্রভৃতি গ্রন্থের লেখক।



পরিমার্জিত ও পরিবর্ধিত চতুর্বিংশ সংস্করণ

2007



বুক সিভিকেট প্রাইভেট লিমিটেড

ক ল কা তা



প্রথম প্রকাশ : 1976

দশম সংস্করণ : 1986

বিংশ সংস্করণ : 1999

ত্রয়োবিংশ সংস্করণ : 2005

পরিমার্জিত চতুর্বিংশ সংস্করণ : 2007

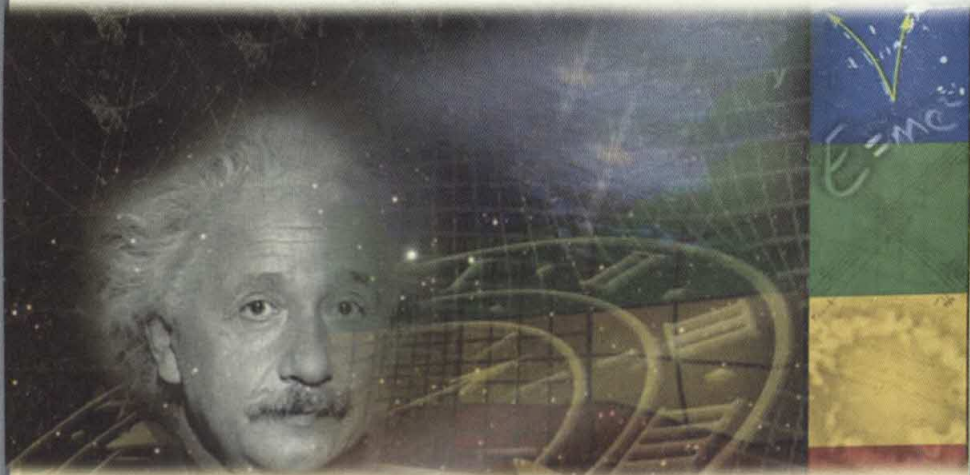
LIBRARY, V. I. LIBRARY
26.4.2007
No. 12482

530
DAS

মূল্য : দুইশত পঞ্চাশ টাকা মাত্র 2nd

চিত্রশিল্পী : শঙ্খশুভ্র বেরা

PCC 1 2201 14



বুক সিভিকেট প্রাইভেট লিমিটেড (35 কলেজ স্ট্রিট, কলকাতা 700 073) কর্তৃক
প্রকাশিত ও মুদ্রণ ভারতী-র (26 মধুসূদন ব্যানার্জী রোড, কলকাতা 700 049) পক্ষে
শ্রীবিকাশ পাল কর্তৃক মুদ্রিত।

ভূমিকা

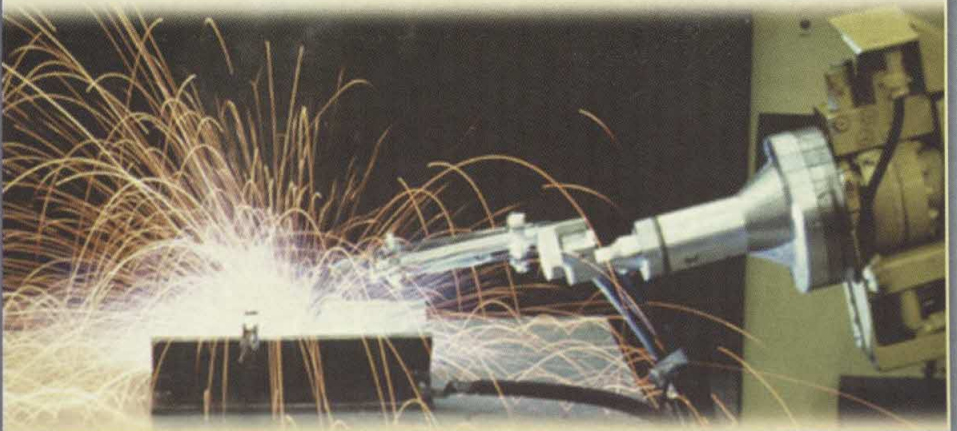
‘পদার্থবিজ্ঞান পরিচয়’ দ্বিতীয় ভাগ (দ্বাদশ শ্রেণির জন্য) গ্রন্থের নতুন সংস্করণ প্রকাশিত হল। এই গ্রন্থখানি সাধারণভাবে H.S. + 2 course, CBSE পরীক্ষা, W.B. Joint Entrance এবং All India Engineering Entrance (AIEEE) প্রভৃতি পরীক্ষার পাঠক্রমের উপযোগী করে লেখা।

2007 সাল থেকে W.B. জয়েন্ট এন্ট্রান্স পরীক্ষা নতুন সিলেবাস (একাদশ ও দ্বাদশ শ্রেণিতে বিভাজিত) অনুযায়ী গৃহীত হবে এবং প্রশ্নপত্রে কেবল মাত্র বহুমুখী পছন্দের প্রশ্ন বা MCQ ধরনের প্রশ্ন থাকবে। 1 নম্বরের 50 টি প্রশ্নের উত্তর 1 ঘণ্টায় শেষ করতে হবে। ছাত্রছাত্রীদের অনুশীলনের জন্য এই সংস্করণে প্রতি পরিচ্ছেদের শেষে প্রচুর সংখ্যক MCQ ধরনের প্রশ্ন দেওয়া হল।

ত্রিপুরা, পশ্চিমবঙ্গ প্রভৃতি বিভিন্ন রাজ্যে + 2 course-এর জন্য প্রশ্নপত্রেরও পরিবর্তন করা হয়েছে। এখন থেকে এই প্রশ্নপত্রে 5 mark-এর বিস্তারিত উত্তরের প্রশ্ন, 4 mark-এর সংক্ষিপ্ত উত্তরের প্রশ্ন, 2 mark-এর অতি সংক্ষিপ্ত উত্তরের প্রশ্ন এবং 1 mark-এর বিষয়মুখী (Objective) প্রশ্ন থাকবে। এই সংস্করণে প্রতি পরিচ্ছেদের শেষে ‘প্রশ্নাবলিকে’ উপরোক্ত শ্রেণি বিভাগে বিভক্ত করে দেওয়া হয়েছে।

ছাত্রছাত্রীরা এই গ্রন্থ পাঠে উপকৃত হবে, এই আশা করি।

চিত্তরঞ্জন দাশগুপ্ত



1



বলবিজ্ঞান ও পদার্থের ধর্ম

Mechanics and Properties of Matter

প্রথম পরিচ্ছেদ : আবর্ত গতিবিজ্ঞান

...

...

3—50

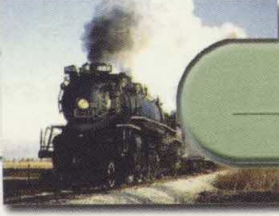
দ্বিতীয় পরিচ্ছেদ : মহাকর্ষ

...

...

51—87

2



তাপ বিজ্ঞান

Heat

প্রথম পরিচ্ছেদ : তাপগতিবিদ্যা

...

...

91—118

দ্বিতীয় পরিচ্ছেদ : গ্যাসের গতিয় তত্ত্ব

...

...

119—142

3



তরঙ্গ ও ভৌতআলোক বিজ্ঞান

Wave and Physical Optics

প্রথম পরিচ্ছেদ : তরঙ্গ

...

...

145—175

দ্বিতীয় পরিচ্ছেদ : শব্দতরঙ্গ

...

...

176—195

তৃতীয় পরিচ্ছেদ : তরঙ্গের উপরিপাত

...

...

196—233

চতুর্থ পরিচ্ছেদ : ভৌত আলোক বিজ্ঞান

...

...

234—248

4

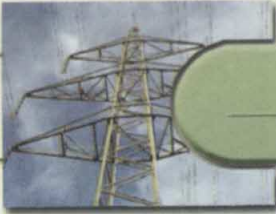


স্থির তড়িৎবিজ্ঞান

Electrostatics

প্রথম পরিচ্ছেদ : তড়িতাহিতকরণের সাধারণ বিষয়াদি	...	...	251—269
দ্বিতীয় পরিচ্ছেদ : স্থির তড়িৎ ক্ষেত্র ও তড়িৎ বিভব	...	...	270—318
তৃতীয় পরিচ্ছেদ : ধারকত্ব এবং ধারক	...	...	319—356

5

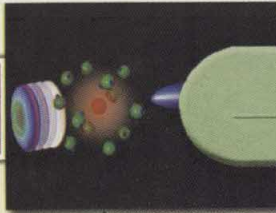


প্রবাহী তড়িৎ বিজ্ঞান

Current Electricity

প্রথম পরিচ্ছেদ : তড়িৎ প্রবাহের তাপীয় ফল ও তাপ-তড়িৎ	...	...	359—393
দ্বিতীয় পরিচ্ছেদ : তড়িৎ প্রবাহের রাসায়নিক ক্রিয়া	...	...	394—415
তৃতীয় পরিচ্ছেদ : তড়িৎ-চুম্বকত্ব (I)	...	...	416—453
চতুর্থ পরিচ্ছেদ : চুম্বকত্ব	...	...	454—486
পঞ্চম পরিচ্ছেদ : তড়িৎ-চুম্বকত্ব (II)	...	...	487—518

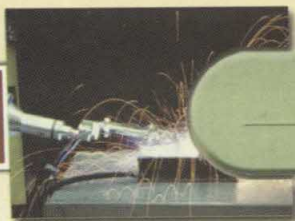
6



আধুনিক পদার্থ বিজ্ঞান

Modern Physics

প্রথম পরিচ্ছেদ : তড়িৎচুম্বকীয় তরঙ্গ	...	...	521—526
দ্বিতীয় পরিচ্ছেদ : অর্ধপরিবাহী ও ইলেকট্রনিকস	...	...	527—550
তৃতীয় পরিচ্ছেদ : কোয়ান্টাম তত্ত্ব ও আলোকতড়িৎ	...	...	551—573
চতুর্থ পরিচ্ছেদ : বোরতত্ত্ব ও এন্ট্রপশি	...	...	574—593
কয়েকটি সর্বজনীন ধ্রুবসংখ্যা	...	...	594

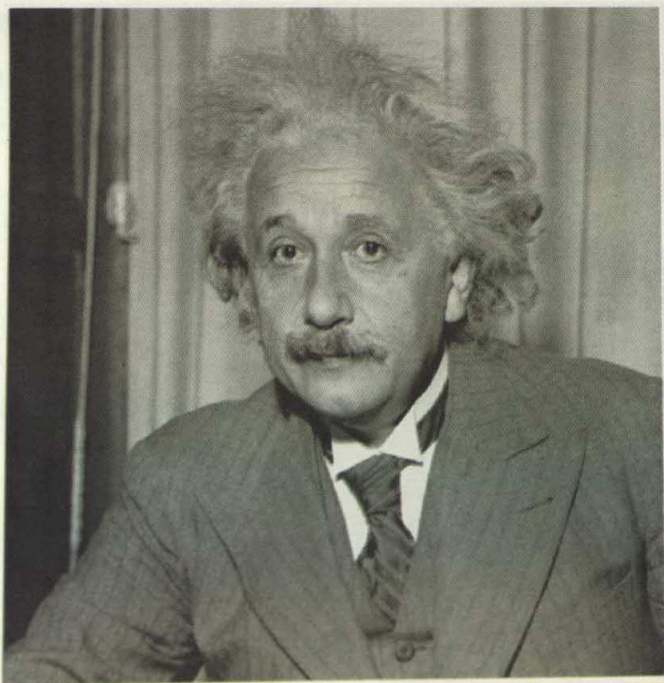


বহুমুখী পছন্দের প্রশ্ন [M.C.Q.]

...

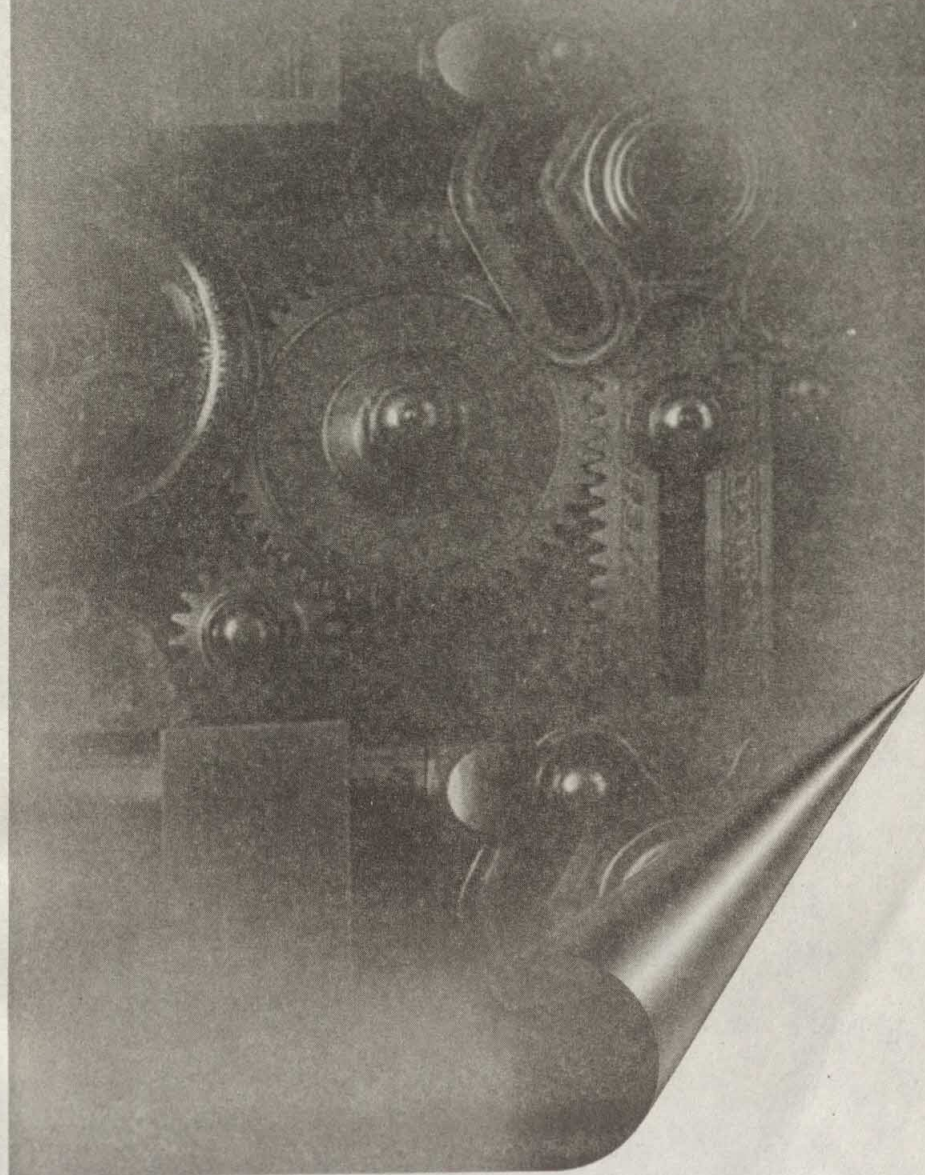
...

597—724



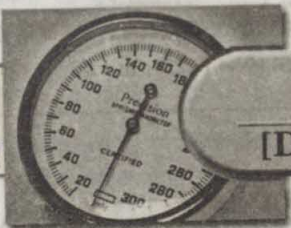
বলবিজ্ঞান ও পদার্থের ধর্ম

[MECHANICS AND PROPERTIES OF MATTER]



1

পরিচ্ছেদ



আবর্ত গতিবিজ্ঞান

[DYNAMICS OF ROTATIONAL MOTION]

1.1. কণার আবর্ত গতি (Rotational motion of a particle):

পূর্বে উল্লেখ করা হয়েছে যে, কোনো বস্তুকণার দু-রকম গতি হতে পারে—(i) চলন গতি (translational motion) এবং (ii) আবর্ত বা ঘূর্ণ গতি (rotational motion)। প্রথমোক্ত গতি সম্পর্কে আমরা ইতিমধ্যে বিস্তারিত আলোচনা করেছি। এই পরিচ্ছেদে আমরা বস্তুকণার আবর্ত গতি সম্পর্কে আলোচনা করব।

বস্তুকণা কোনো বিন্দুকে কেন্দ্র করে যদি বৃত্তপথে সুসম দ্রুতিতে পরিভ্রমণ করে, তবে ঐ গতিকে সুসম আবর্তগতি বা ঘূর্ণগতি বলা হয়। ঐ বিন্দুর মধ্য দিয়ে এবং বৃত্তের তলের অভিলম্বভাবে যদি কোনো রেখা টানা যায়, তবে ঐ রেখাকে বলা হবে ঘূর্ণাঙ্ক (axis of rotation)।

বস্তুকণা যে বৃত্তপথে পরিভ্রমণ করে ঐ বৃত্তের ব্যাসার্ধকে বলা হয় বস্তুকণার দূরক (radius vector)। বলা বাহুল্য, কণার ঘূর্ণগতির সঙ্গে দূরকেরও ঘূর্ণগতি হয় এবং দূরক বিভিন্ন সময়ে বৃত্তের কেন্দ্রে বিভিন্ন কোণ উৎপন্ন করে।

চলন গতিতে আমাদের মুখ্য পরিমাপের বিষয় ছিল বস্তুকণা কর্তৃক অতিক্রান্ত রৈখিক দূরত্ব; আবর্তগতিতে আমাদের মুখ্য পরিমাপের বিষয় হবে দূরক কর্তৃক বৃত্তের কেন্দ্রে উৎপন্ন কোণ। ঐ কোণকে বলা হয় কণার কৌণিক সরণ (angular displacement)। একে সাধারণত ‘রেডিয়ান’ এককে পরিমাপ করা হয়। যেহেতু কৌণিক সরণ মূলত একটি কোণ, তাই একে প্রচলিত ডিগ্রি, মিনিট, সেকেন্ড এককেও মাপা যেতে পারে। কিন্তু কয়েকটি সুবিধার জন্য কৌণিক সরণকে রেডিয়ান এককেই মাপা হয়।

সংজ্ঞা : যদি কোনো বৃত্ত হতে তার ব্যাসার্ধের সমান দৈর্ঘ্যসম্পন্ন চাপ (arc) নেওয়া হয়, তবে ঐ চাপ বৃত্তের কেন্দ্রে যে কোণ উৎপন্ন করে তাকে এক রেডিয়ান বলে।

এই পদ্ধতি অনুযায়ী, কোণ $\theta = \frac{\text{চাপ } (S)}{\text{ব্যাসার্ধ } (r)}$ অথবা, $S = r\theta$ ।

মনে রাখতে হবে, 1 রেডিয়ান $= \frac{360}{2\pi} = 57.32^\circ$ [$\pi = 3.14$]

রেডিয়ান দুটি দৈর্ঘ্যের অনুপাত হওয়ায় এর কোনো একক বা মাত্রা নেই।

1.2. কৌণিক বেগ (Angular velocity):

সমবেগে বৃত্তাকার পথে বস্তুকণার পরিভ্রমণকালে, দূরক যদি Δt সময়ে বৃত্তের কেন্দ্রে $\Delta\theta$ কোণ উৎপন্ন করে, অর্থাৎ ঐ সময়ে কৌণিক সরণ হয় $\Delta\theta$ তবে বস্তুকণার কৌণিক বেগ $W = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta\theta}{\Delta t} = \frac{d\theta}{dt}$ [চিত্র 1.1]।

বীজগণিতের প্রতীক অনুযায়ী $\omega = \frac{\theta}{t}$

সংজ্ঞা : সমবেগে বৃত্তাকার পথে পরিভ্রমণরত কোনো বস্তুকণার দূরক একক সময়ে বৃত্তের কেন্দ্রে যে কোণ উৎপন্ন করে, তাকে ঐ বস্তুকণার কৌণিক বেগ বলা হয়।

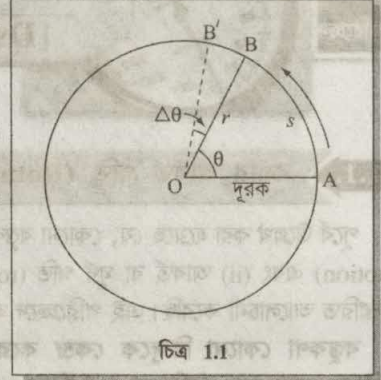
অর্থাৎ, সময়ের সাপেক্ষে কৌণিক সরণের হার-কে কৌণিক বেগ বলে। সাধারণত কৌণিক বেগকে ω (উচ্চারণ ‘ওমেগা’) অক্ষর দ্বারা প্রকাশ করা হয়। এখন $dt = 1$ হলে, $\omega = d\theta$; একক সময়ে কণার কৌণিক সরণ বস্তুকণার কৌণিক বেগের পরিমাপ।

লক্ষ কর যে, কৌণিক বেগের উপরিউক্ত সমীকরণটি রৈখিক

বেগের সমীকরণ $v = \frac{s}{t}$ এই সমীকরণের সাথে সাদৃশ্য রাখে।

কৌণিক বেগ ω রৈখিক বেগ v -এর অনুরূপ এবং কৌণিক সরণ θ রৈখিক সরণ s -এর অনুরূপ। রেডিয়ান এককে θ এবং সেকেন্ড এককে t পরিমাপ করলে কৌণিক বেগের একক হবে ‘রেডিয়ান প্রতি সেকেন্ড’ (rads^{-1})।

যখন একটি জড়বস্তু কোনো অক্ষ সাপেক্ষে সমবৃত্তগতিতে পরিভ্রমণ করে তখন ঐ বস্তুর অসংখ্য কণাগুলি ঐ জড়বস্তুর ঘূর্ণাক্ষ থেকে বিভিন্ন দূরত্বে থাকলেও তাদের প্রত্যেকের কৌণিক গতিবেগ সমগ্র জড়বস্তুর কৌণিক গতিবেগের সমান হয়।



চিত্র 1.1

পর্যায়কাল : যদি বস্তুকণা একবার সমগ্র বৃত্ত পরিভ্রমণ করতে T সেকেন্ড সময় নেন, তবে তার

কৌণিক বেগ $\omega = \frac{2\pi}{T}$ রেডিয়ান/সেকেন্ড—কারণ, একবার পূর্ণ পরিভ্রমণের ফলে দূরক বৃত্তকেন্দ্রে 2π রেডিয়ান কোণ উৎপন্ন করে। এক্ষেত্রে, T -কে বলা হয় বস্তুকণার পর্যায়কাল (time period)।

কম্পাঙ্ক : বস্তুকণা প্রতি সেকেন্ডে n বার বৃত্তপথ প্রদক্ষিণ করলে, $\omega = 2\pi n$; এক্ষেত্রে n -কে বলা হয় বস্তুকণার কম্পাঙ্ক (frequency)। এটা বস্তুকণার আবর্ত বেগ (rotational speed) প্রকাশ করে। যেমন, কোনো চক্র সেকেন্ডে 10 বার বৃত্তপথ প্রদক্ষিণ করলে, তার কম্পাঙ্ক বা আবর্তবেগ 10 r.p.s. (revolutions per second)। এটা মিনিটে 600 বার আবর্তজনিত—অর্থাৎ 600 r.p.m. (revolutions per minute) আবর্তবেগ বোঝাবে অথবা ঘন্টায় 36000 আবর্তজনিত বা 36,000 r.p.h. (revolutions per hour) আবর্তবেগ বোঝাবে।

রেডিয়ান/সেকেন্ড এবং আর.পি.এম.-এর সম্পর্ক : সাধারণত প্রতি মিনিটে আবর্তন সংখ্যা (সংক্ষেপে আর.পি.এম.) দ্বারা কোনো বস্তু বা কণার আবর্তন গতিবেগ প্রকাশ করা হয়। কোনো বস্তুকণার আর.পি.এম. N হলে, তা 1 মিনিটে N পূর্ণসংখ্যক আবর্তন সম্পন্ন করে। কাজেই, একটি পূর্ণ আবর্তনের

সময় $= \frac{60}{N}$ s. এবং এটাই বস্তুকণার পর্যায়কাল (T)। সুতরাং, $T = \frac{60}{N}$ s.; বস্তুকণার কৌণিক বেগ

$\omega \text{ rads}^{-1}$ হলে, $\omega = \frac{2\pi}{T} = \frac{2\pi \times N}{60} = 0.104 N \text{ rads}^{-1}$ ।

1.3. কৌণিক বেগ ও রৈখিক বেগের সম্পর্ক

(Relation between angular velocity and linear velocity) :

আমরা পূর্বে দেখেছি $\omega = \frac{\theta}{t}$ ।

এখন, রেডিয়ান পরিমাপ অনুযায়ী, $\theta = \frac{AB \text{ চাপের দৈর্ঘ্য}}{\text{ব্যাসার্ধ}} = \frac{s}{r}$ (চিত্র 1.1)

অতএব, $\omega = \frac{s}{r} \times \frac{1}{t} = \frac{s}{t} \times \frac{1}{r}$; এখন বস্তুকণার রৈখিক বেগ v হলে, $v = \frac{s}{t}$; অতএব, $\omega = \frac{v}{r}$

অথবা, $v = \omega \times r$; রৈখিক বেগ = কৌণিক বেগ \times ব্যাসার্ধ। এটি একটি অতি প্রয়োজনীয় সমীকরণ।

[ক্যালকুলাসের সাহায্যে : $s = r\theta$; সময়ের সাপেক্ষে ডিফারেন্সিয়েট করলে, $\frac{ds}{dt} = r \cdot \frac{d\theta}{dt}$ অথবা,

$$v = r\omega \quad (r = \text{ধ্রুবক})]$$

বৃত্তাকার বক্রপথে (curved path) গেলে $s = r\theta$ অথবা, $ds = r.d\theta + \theta.dr$

[বক্রপথে গেলে, θ এবং r দুই-ই সময়ের সাথে পরিবর্তন করে]

অথবা, $\frac{ds}{dt} = v = r \cdot \frac{d\theta}{dt} + \theta \cdot \frac{dr}{dt}$. রৈখিক গতিবেগের এই ব্যাঙ্কে দ্বিতীয় একটি অংশ এসেছে যেটি

সময় সাপেক্ষে দূরকের পরিবর্তনের হার জ্ঞাপন করছে। সূর্যের চতুর্দিকে গ্রহের উপবৃত্তীয় (elliptic) পথে গতির বেলায় কৌণিক সরণের সঙ্গে সঙ্গে দূরকেরও পরিবর্তন ঘটে। বৃত্তীয় পথে গতির বেলায় দূরকের

কোনো পরিবর্তন হয় না ; তাই বৃত্তীয় গতির বেলায় $\frac{dr}{dt} = 0$ এবং $v = r \cdot \frac{d\theta}{dt}$.

● কৌণিক বেগের অভিমুখ (Direction of angular velocity) :

বৃত্তাকার কৌণিক বেগ ঘূর্ণাক্ষের উপর নির্ভর করে বিভিন্ন হতে পারে। কৌণিক বেগের মান অপরিবর্তিত থাকলেও ঘূর্ণাক্ষের পরিবর্তনে তা বিভিন্ন কৌণিক বেগ সৃষ্টি করবে। কাজেই কৌণিক বেগের একটি নির্দিষ্ট অভিমুখ আছে—এটা স্কেলার রাশি নয়।

কৌণিক বেগের অভিমুখ ভ্রামকের অভিমুখের পদ্ধতি (প্রথমখণ্ড, 6.10 অনুচ্ছেদ) অনুযায়ী স্থির করা হয়। বৃত্তাকার আবর্তন বরাবর একটি ডানপাকের স্ক্রু যোরালে তা যেদিকে অগ্রসর হবে সেটাই কৌণিক বেগের অভিমুখ। ভ্রামকের মত এটিও একটি অক্ষীয় ভেক্টর (প্রথমখণ্ড, ষষ্ঠ পরিচ্ছেদ 6.10 অনুচ্ছেদ দ্রষ্টব্য)।

□ EXAMPLES □

1. একটি চক্রের পরিসীমা (perimeter) 220 cm। চক্রটি অনুভূমিক রাস্তার ওপর দিয়ে 9 km/h বেগে গড়িয়ে যাচ্ছে। চক্রটি প্রতি সেকেন্ডে ক'বার আবর্তন করছে ?

উঃ। ধর, চক্রটির কৌণিক বেগ ω । তাহলে $v = \omega \cdot r$. অথবা $\omega = \frac{v}{r}$.

$$\text{এখন } 2\pi r = 220 \therefore r = \frac{220}{2\pi} = 35 \text{ cm এবং } v = 9 \text{ km/h} = \frac{9 \times 10^5}{60 \times 60} = \frac{10^3}{4} \text{ cms}^{-1}.$$

$$\therefore \omega = \frac{v}{r} = \frac{10^3}{4} \times \frac{1}{35} \text{ rads}^{-1}.$$

যদি n হয় প্রতি সেকেন্ডে আবর্তন সংখ্যা তাহলে $\omega = 2\pi n$

$$\therefore n = \frac{10^3}{4 \times 35 \times 2\pi} = \frac{25}{22} \text{ revs}^{-1}.$$

2. একটি ঘড়ির সেকেন্ডের কাঁটার এবং মিনিটের কাঁটার কৌণিক বেগ কত ?

উঃ। সেকেন্ডের কাঁটা 60 সেকেন্ডে একবার পূর্ববৃত্ত ঘুরে আসে। অতএব কৌণিক বেগ $\omega = \frac{2\pi}{60} \text{ rads}^{-1}$
 $= 0.105 \text{ rads}^{-1}$.

মিনিটের কাঁটা 60 মিনিটে একবার পূর্ববৃত্ত ঘুরে আসে। অতএব, তার কৌণিক বেগ, $\omega = \frac{2\pi}{60 \times 60}$
 রেডিয়ান/সে = $0.174 \times 10^{-2} \text{ rad/s}$.

3. একটি ঘড়ির মিনিটের কাঁটা ও ঘণ্টার কাঁটা কতক্ষণ অন্তর পরস্পর মিলিত হয় ?

উঃ। ধরা যাক t ঘণ্টা অন্তর কাঁটা দুটি পরস্পর মিলিত হয়। এখন ঘণ্টার কাঁটা একবার সম্পূর্ণ

ঘুরে এলে 12 ঘণ্টা অতিবাহিত হয় এবং 2π কোণ আবর্তিত হয়। ফলে, ঘণ্টার কাঁটার কৌণিক বেগ

$$\omega = \frac{2\pi}{12} \text{ radh}^{-1} = \frac{\pi}{6} \text{ radh}^{-1}.$$

আবার মিনিটের কাঁটা একবার সম্পূর্ণ ঘুরলে 1 ঘণ্টা অতিবাহিত হয় এবং 2π কোণ আবর্তিত হয়।

অতএব, মিনিটের কাঁটার কৌণিক বেগ $\omega' = \frac{2\pi}{1} \text{ rad/h} = 2\pi \text{ radh}^{-1}$.

কাঁটা দুটি একবার পরস্পর মিলিত হবার t ঘণ্টা পরে যদি আবার পরস্পর মিলিত হয় তবে ঐ সময়ে

$$\text{ঘণ্টার কাঁটার কৌণিক সরণ } \theta = \omega \times t = \frac{\pi}{6} t \text{ rad} \dots (i)$$

$$\text{অনুরূপভাবে, মিনিটের কাঁটার কৌণিক সরণ } \theta' = \omega' \times t = 2\pi t \text{ rad} \dots (ii)$$

কাঁটা দুটির পরপর দ্বার মিলিত হবার মধ্যে মিনিটের কাঁটাটি ঘণ্টার কাঁটা অপেক্ষা একপাক বেশি ঘোরে অথবা মিনিটের কাঁটার কৌণিক সরণ ঘণ্টার কাঁটার কৌণিক সরণ অপেক্ষা $2\pi \text{ rad}$ বেশি হয়।

$$\text{সুতরাং, } \theta' - \theta = 2\pi$$

$$\text{অথবা } 2\pi t - \frac{\pi t}{6} = 2\pi$$

$$,, \quad \frac{11}{6} \times t = 2$$

$$,, \quad t = \frac{12}{11} \text{ h} = 1 \text{ h } 5 \text{ min } 27 \text{ s (প্রায়)}।$$

4. একটি বৃত্তাকার 10 cm ব্যাসার্ধের একটি চক্রাকার পথে 0.3 rads^{-1} কৌণিক বেগ নিয়ে ঘুরছে। বৃত্তাকার রৈখিক দ্রুতি এবং একটি সম্পূর্ণ আবর্তন সম্পন্ন করতে কত সময় লাগে তা নির্ণয় করো।

উঃ। $r = 10 \text{ cm}$ এবং $\omega = 0.3 \text{ rads}^{-1}$ । এখন, $v = \omega \times r$ । অতএব, $v = 0.3 \times 10 = 3 \text{ cms}^{-1}$ ।

$$\text{আবার, } T = \frac{2\pi}{\omega} = \frac{2 \times 3.14}{0.3} = 20.94 \text{ s}.$$

5. একটি পাথরখণ্ডকে 0.5 m দীর্ঘ একটি সুতোয় বেঁধে 2 সেকেন্ডে 8 বার বৃত্তপথে পরিভ্রমণ করানো হচ্ছে। পাথরখণ্ডের কৌণিক বেগ এবং রৈখিক দ্রুতি কত?

উঃ। 2 সেকেন্ড সময়ে বৃত্তের কেন্দ্রে উৎপন্ন কোণ, $\theta = 2\pi \times 8 = 50.26 \text{ radian}$ । অতএব, $\omega = \frac{\theta}{t}$
 $= \frac{50.26}{2} = 25.13 \text{ rads}^{-1}$ । আবার, $v = \omega \times r = 25.13 \times 0.5 = 12.6 \text{ ms}^{-1}$ ।

1.4. কৌণিক ত্বরণ (Angular acceleration):

বৃত্তাকার যদি কোনো অক্ষের চতুর্দিকে স্বাধীনভাবে (freely) ঘূর্ণনে সক্ষম হয় এবং তার উপর যদি কোনো অসম টর্ক ক্রিয়া করে তবে তার কৌণিক বেগের পরিবর্তন হয়। কণাটি স্থিরাবস্থা থেকে ক্রমবর্ধমান কৌণিক বেগে ঘুরতে আরম্ভ করে। তখন বলা হয় যে বৃত্তাকার একটি কৌণিক ত্বরণ উৎপন্ন হয়েছে। রৈখিক ত্বরণের সংজ্ঞাস্বরূপ যেমন বলা হয় তা সময়ের সাপেক্ষে রৈখিক বেগের পরিবর্তনের হার বুঝায় তেমনি কৌণিক ত্বরণের সংজ্ঞাস্বরূপ বলা যায় যে তা সময়ের সাপেক্ষে কৌণিক বেগের পরিবর্তনের হার বুঝায় (কৌণিক বেগের মত কৌণিক ত্বরণও একটি অক্ষীয় ভেক্টর)। t সময়ে যদি বৃত্তাকার কৌণিক বেগের পরিবর্তন হয় ω তবে বৃত্তাকার কৌণিক ত্বরণ $\alpha = \frac{\omega}{t}$; কৌণিক ত্বরণের

একক রেডিয়ান/সে² (rads⁻²)।

রৈখিক ত্বরণের ন্যায় কৌণিক ত্বরণও একটি ভেক্টর রাশি। এর অভিমুখ বস্তুকণার ঘূর্ণন অক্ষ বরাবর। বস্তুকণা যেদিকে ঘুরছে সেদিকে একটি দক্ষিণাবর্ত (right handed) স্ক্রু-কে ঘোরালে স্ক্রুটি যেদিকে অগ্রসর হয় কৌণিক বেগ বা ত্বরণ সেই দিকে অভিমুখী হয়।

$$[\text{ক্যালকুলাস অনুযায়ী, } \alpha = \frac{d\omega}{dt} = \frac{d}{dt} \left(\frac{d\theta}{dt} \right) = \frac{d^2\theta}{dt^2}]$$

$$\text{রৈখিক ত্বরণের অনুরূপ সমীকরণ : } a = \frac{v}{t}$$

সুতরাং, রৈখিক গতির s , v এবং a আবর্তগতিতে যথাক্রমে θ , v এবং α -এর স্থান অধিকার করে। আবার, পূর্বোক্ত t অবকাশের শুরুতে বস্তুকণার কৌণিক বেগ ω_1 এবং শেষে ω_2 হলে কৌণিক বেগের পরিবর্তন $\omega = \omega_2 - \omega_1$;

$$\text{অতএব, } \alpha = \frac{\omega}{t} = \frac{\omega_2 - \omega_1}{t} \text{ অথবা, } \omega_2 = \omega_1 + \alpha.t.$$

$$\text{রৈখিক বেগের অনুরূপ সমীকরণ : } v = u + at.;$$

□ EXAMPLE □

1. একটি চক্র স্থিরাবস্থা হতে আবর্তন শুরু করে 40 সেকেন্ডে 300 r.p.m. বৃত্তগতি সংগ্রহ করল। চক্রের কৌণিক ত্বরণ কত? ঐ 40 সেকেন্ডে চক্রটি মোট কয়টি আবর্তন সম্পন্ন করল?

$$\text{উঃ। কৌণিক ত্বরণ } \alpha = \frac{\omega_2 - \omega_1}{t}; \text{ এখানে } \omega_1 = 0 \text{ (চক্রটি প্রথমে স্থির ছিল); } \omega_2 = \frac{300 \times 2\pi}{60} \\ = 10\pi = 31.41 \text{ rads}^{-1}; t = 40 \text{ s} \text{ অতএব, } \alpha = \frac{31.41}{40} = 0.785 \text{ rads}^{-2}$$

$$\text{এখন, গড় কৌণিক গতিবেগ} = \frac{\omega_1 + \omega_2}{2} = \frac{300}{2} = 150 \text{ r.p.m.} = \frac{150}{60} = 2.5 \text{ r.p.s.}$$

$$\therefore 40 \text{ সেকেন্ডে চক্র কর্তৃক সম্পাদিত মোট আবর্তন সংখ্যা} = 2.5 \times 40 = 100.$$

1.5. কৌণিক ত্বরণ ও রৈখিক ত্বরণের সম্পর্ক (Relation between angular and linear accelerations)

মনে করো, কোনো বস্তুকণা বৃত্তপথে চলতে চলতে t অবকাশে তার রৈখিক দ্রুতি v_1 হতে পরিবর্তিত করে v_2 করল। অতএব, তার রৈখিক ত্বরণ $a = \frac{v_2 - v_1}{t}$

এখন উক্ত t অবকাশে বস্তুকণার কৌণিক বেগ যদি ω_1 হতে পরিবর্তিত হয়ে ω_2 হয় তবে, $v_1 = \omega_1 \times r$ এবং $v_2 = \omega_2 \times r$ [r = বৃত্তের ব্যাসার্ধ]

$$\text{অতএব, } a = \frac{\omega_2 \times r - \omega_1 \times r}{t} = r \cdot \frac{\omega_2 - \omega_1}{t} = r \cdot \alpha \text{ [}\alpha \text{ = কৌণিক ত্বরণ} = \frac{\omega_2 - \omega_1}{t}\text{]}$$

রৈখিক ত্বরণ = কৌণিক ত্বরণ \times বৃত্তের ব্যাসার্ধ।

[ক্যালকুলাসের সাহায্যে :

বস্তুকণার রৈখিক গতিবেগ এবং রৈখিক ত্বরণ যদি যথাক্রমে v এবং a হয় তবে

$$a = \frac{dv}{dt} = \frac{d}{dt} (\omega \cdot r) = r \frac{d\omega}{dt} = r \cdot \alpha \text{ [বৃত্তগতির বেলায় } r \text{ ধ্রুবক]}$$

নিম্নের তিনটি সমীকরণের সাদৃশ্য লক্ষ্য করো $s = r\theta$, $v = r\omega$; $a = r\alpha$

সমীকরণগুলি মনে রাখার পক্ষে উক্ত সাদৃশ্য খুবই সহায়ক।

□ EXAMPLES □

১. একটি মোটরগাড়ির ইঞ্জিন 210 r.p.m. কৌণিক বেগে চলতে চলতে 10 সেকেন্ডে 25 rads^{-2} কৌণিক ত্বরণ লাভ করল। ঐ সময়ে ইঞ্জিন (i) কত কোণ আবর্তন করল এবং (ii) কয়বার পূর্ণ আবর্তন করল নির্ণয় করো।

উঃ। এক্ষেত্রে $\omega_1 = \frac{210}{60} \times 2\pi = 22 \text{ rads}^{-1}$ $\left[\pi = \frac{22}{7} \right]$

এখন, $\theta = \omega_1 t + \frac{1}{2} \alpha t^2 = 22 \times 10 + \frac{1}{2} \cdot 25 \times 100 = 1470 \text{ rad}$

ইঞ্জিন n সংখ্যক পূর্ণ আবর্তন সম্পন্ন করলে, $2\pi n = \theta$

$$\therefore n = \frac{\theta}{2\pi} = \frac{1470}{2 \cdot \pi} = 234.$$

২. একটি চক্র 3 rads^{-2} স্থির কৌণিক ত্বরণ নিয়ে আবর্তিত হচ্ছে। কোনো এক 4 s অবকাশে চক্র 120 rad কোণ আবর্তন করল। স্থিরাবস্থা হতে আবর্তন শুরু করলে, ঐ 4 s সময়ের পূর্বে চক্রটি কতক্ষণ যাবৎ আবর্তিত হয়েছিল?

উঃ। কৌণিক ত্বরণ $\alpha = 3 \text{ rads}^{-2}$; $t_1 = 4 \text{ s}$; $\theta = 120 \text{ rad}$; উক্ত 4s অবকাশ শুরু হবার মুহূর্তে যদি চক্রের কৌণিক বেগ ω_1 হয় তবে, $\theta = \omega_1 t_1 + \frac{1}{2} \alpha t_1^2$ সমীকরণ হতে পাই,

$$120 = \omega_1 \times 4 + \frac{1}{2} \times 3 \times (4)^2 \text{ অথবা } \omega_1 = 24 \text{ rads}^{-1}.$$

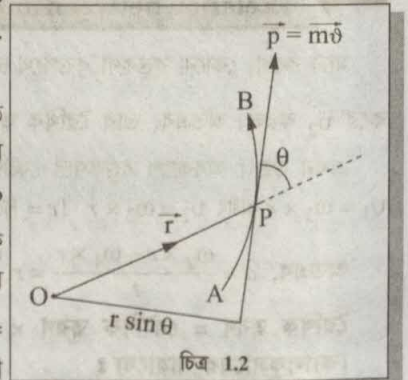
কিন্তু, $\omega_1 = \omega_0 + \alpha t$ [$\omega_0 =$ প্রাথমিক কৌণিক বেগ] এখানে, $\omega_1 = 24 \text{ rads}^{-1}$; $\omega_0 = 0$; $\alpha = 3 \text{ rads}^{-2}$.

অতএব, $24 = 0 + 3t \therefore t = 8 \text{ s}$.

1.6. কণার কৌণিক ভরবেগ (Angular momentum of a particle):

ঘূর্ণন বিন্দুর সাপেক্ষে গতিশীল কণার রৈখিক ভরবেগের ভ্রামককে কণার ভরবেগের ভ্রামক (moment of momentum) অথবা কৌণিক ভরবেগ বলে।

ধর, m ভরের একটি কণা AB বক্রপথে যাচ্ছে। P বিন্দুতে যদি কণার রৈখিক গতিবেগ v হয় তবে ঐ বিন্দুতে কণার রৈখিক ভরবেগ $\vec{p} = m\vec{v}$; এই ভরবেগের অভিমুখ হবে P বিন্দুতে বক্রের স্পর্শক বরাবর [চিত্র 1.2]। O-বিন্দুর সাপেক্ষে P বিন্দুর স্থান-ভেক্টর \vec{r} হলে, O-বিন্দুর সাপেক্ষে কণার কৌণিক ভরবেগ $\vec{L} = \vec{r} \times \vec{p}$ অথবা $|\vec{L}| = r \times p \sin \theta = mvr \sin \theta$ [$\theta = \vec{r}$ এবং \vec{p} -এর অভিমুখের অন্তর্বর্তী কোণ]। কণা যদি r ব্যাসার্ধের বৃত্তপথে পরিভ্রমণ করে, তবে $\theta = 90^\circ$,



সেক্ষেত্রে $L = r \times p = mvr = m\omega r^2$ [$\omega =$ কণার কৌণিক বেগ]।

বস্তুর রৈখিক গতির বেলায় বল বস্তুর রৈখিক ভরবেগ এবং রৈখিক ত্বরণ সৃষ্টি করে। একইভাবে

কণার বৃত্তীয় গতির বেলায় ভ্রামক অথবা টর্ক কণার কৌণিক ভরবেগ এবং কৌণিক ত্বরণ সৃষ্টি করে। বস্তুকণার গতি যদি $x-y$ তলে সীমাবদ্ধ থাকে তবে কৌণিক ভরবেগ ওই তলের সমকোণে অর্থাৎ z -অক্ষ বরাবর ক্রিয়া করে।

1.7.

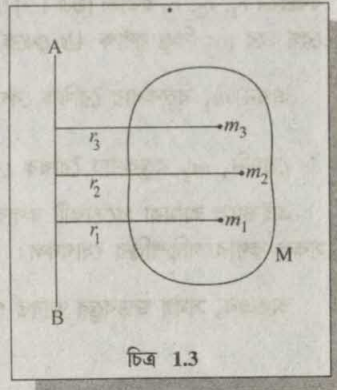
টর্ক এবং কৌণিক ত্বরণের সম্পর্ক

(Relation between torque and angular acceleration) :

স্থিতিবিজ্ঞান (প্রথম খণ্ড) পরিচ্ছেদে 6.12 অনুচ্ছেদে দ্বন্দ্বের ভ্রামক বা টর্কের কথা আলোচনা করা হয়েছে।

বস্তুকণার উপর রৈখিক বল প্রয়োগ করলে যেমন তার একটি রৈখিক ত্বরণ উৎপন্ন হয় বস্তুকণার উপর দ্বন্দ্ব বা টর্ক প্রয়োগ করলে তেমনি ঘূর্ণগতির সৃষ্টি হয়ে কৌণিক ত্বরণ উৎপন্ন হয়। এ পর্যন্ত কৌণিক ত্বরণ সম্বন্ধে যে আলোচনা করা হয়েছে, তাতে প্রযুক্ত টর্কের পরিমাণ বা ঘূর্ণায়মান বস্তুর ভরের কোনো উল্লেখ প্রয়োজন হয়নি; বস্তুকে কণা হিসাবে ধরে নেওয়া হয়েছে। টর্ক এবং কৌণিক ত্বরণের সম্পর্ক নির্ণয় করতে গেলে এই দুটি রাশির প্রয়োজন হবে।

কোনো অক্ষ সাপেক্ষে স্বাধীনভাবে ঘূর্ণনে সক্ষম কোনো বস্তুর উপর নির্দিষ্ট টর্ক প্রয়োগ করলে, বস্তুর যে কৌণিক ত্বরণ সৃষ্টি হয় তা যে শুধু বস্তুর আকার এবং সাইজের উপর নির্ভর করে তা নয়, ঘূর্ণাক্ষের সাপেক্ষে বস্তুর ভর-বন্টনের (distribution of mass) উপরও নির্ভর করে।



চিত্র 1.3

ধরো, কোনো টর্কের অধীনে একটি জড়বস্তু* AB -অক্ষকে বেঁচন করে সমকৌণিক ত্বরণ α নিয়ে ঘুরছে [চিত্র 1.3]। আমরা এ কথা জানি যে জড়বস্তুর প্রত্যেকটি কণার কৌণিক ত্বরণ জড়বস্তুর নিজস্ব কৌণিক ত্বরণের সমান কিন্তু ঘূর্ণাক্ষ হতে সব কণাগুলির দূরত্ব সমান নয় বলে সকল কণাগুলির রৈখিক ত্বরণ সমান হবে না।

এখন ঘূর্ণাক্ষ হতে m_1 কণার দূরত্ব r_1 হওয়ায়, ঐ কণার রৈখিক ত্বরণ $= r_1 \times \alpha$; অতএব ঐ কণার উপর প্রযুক্ত বল = ভর \times রৈখিক ত্বরণ $= m_1 r_1 \alpha$; ঘূর্ণাক্ষের সাপেক্ষে ঐ বলের ভ্রামক = বল \times ঘূর্ণাক্ষ হতে বস্তুকণার দূরত্ব $= m_1 r_1 \alpha \times r_1 = m_1 r_1^2 \alpha$; একইভাবে m_2 বিন্দুভরের বেলায় প্রযুক্ত বলের ভ্রামক $= m_2 r_2^2 \alpha$, ইত্যাদি।

যেহেতু জড়বস্তুটি m_1, m_2, m_3 প্রভৃতি কণাগুলি দ্বারা গঠিত, সেহেতু উপরোক্ত ভ্রামকগুলির সমষ্টি হবে সমগ্র জড়বস্তুর উপর ক্রিয়ারত দ্বন্দ্বের ভ্রামক অথবা টর্ক। কাজেই,

$$\begin{aligned} \text{টর্ক } (\tau) &= m_1 r_1^2 \alpha + m_2 r_2^2 \alpha + \dots \\ &= \alpha (m_1 r_1^2 + m_2 r_2^2 + \dots) = \alpha \Sigma m r^2 = I \alpha \end{aligned}$$

I = ঘূর্ণাক্ষ সাপেক্ষে জড়বস্তুর জাড্য-ভ্রামক $= \Sigma m r^2$ । এটা শুধু বস্তুর ভরের উপর নির্ভর করে না। ঘূর্ণাক্ষ থেকে ভরের দূরত্ব-বন্টনের উপরও নির্ভর করে।

সুতরাং, প্রযুক্ত টর্ক = বস্তুর জাড্য-ভ্রামক \times কৌণিক ত্বরণ।

c.g.s. পদ্ধতিতে টর্কের একক ডাইন-সে.মি. (dyne-cm) এবং S.I. পদ্ধতিতে নিউটন-মিটার (newton-metre)।

* জড়বস্তু বলতে এমন এক বস্তু বোঝায় যা অসংখ্য বস্তুকণার সমষ্টি। এই কণাগুলি এমনই যে প্রত্যেক জোড়া কণার পারস্পরিক দূরত্ব সর্বদা অপরিবর্তিত থাকে এবং সংসক্তি বলে পরস্পরের প্রতি দৃঢ়ভাবে আবদ্ধ থাকে।

1.8. জাড্য-ভ্রামক (Moment of inertia) :

কোনো অক্ষ সাপেক্ষে কোনো জড় বস্তুর জাড্যভ্রামক বলতে ঐ বস্তুর প্রতিটি কণার ভর এবং অক্ষ থেকে তাদের দূরত্বের বর্গের গুণফলের সমষ্টি বোঝায়।

ধর, M একটি জড়বস্তু যা AB অক্ষের চতুর্দিকে স্থির কৌণিক বেগ ω নিয়ে আবর্তন করছে [চিত্র 1.3]। এই আবর্ত বা ঘূর্ণগতির দরুন বস্তু কিছু গতিশক্তির অধিকারী হবে। একে আবর্ত গতিশক্তি (rotational kinetic energy) বলা হয়।

ধর, জড়বস্তুটি m_1, m_2, m_3 ইত্যাদি ভরের অসংখ্য বস্তুকণার সমষ্টি এবং AB অক্ষ হতে তাদের দূরত্ব যথাক্রমে r_1, r_2, r_3 ইত্যাদি [চিত্র 1.3]। কণাগুলি জড়বস্তুর সাথে দৃঢ়ভাবে আবদ্ধ বলে, তাদের প্রত্যেকের কৌণিক বেগ হবে ω ; কিন্তু ঘূর্ণাঙ্ক AB থেকে তাদের দূরত্ব সমান নয় বলে তাদের রৈখিক বেগ সমান হবে না।

$$\text{এখন } m_1 \text{ বস্তুকণার রৈখিক বেগ } v_1 = \omega \cdot r_1; \text{ কাজেই তার গতিশক্তি} = \frac{1}{2} m_1 v_1^2 = \frac{1}{2} m_1 \omega^2 r_1^2.$$

$$\text{তেমনি, } m_2 \text{ বস্তুকণার রৈখিক বেগ } v_2 = \omega \cdot r_2 \text{ এবং তার গতিশক্তি} = \frac{1}{2} m_2 v_2^2 = \frac{1}{2} m_2 \omega^2 r_2^2.$$

এইভাবে আমরা প্রত্যেকটি কণার গতিশক্তি নির্ণয় করতে পারি। এখন সমগ্র জড়বস্তুর গতিশক্তি এই সকল কণার গতিশক্তির যোগফল।

$$\begin{aligned} \text{অতএব, সমগ্র জড়বস্তুর আবর্ত গতিশক্তি} &= \frac{1}{2} m_1 \omega^2 r_1^2 + \frac{1}{2} m_2 \omega^2 r_2^2 + \frac{1}{2} m_3 \omega^2 r_3^2 + \dots \\ &= \frac{1}{2} \omega^2 [m_1 r_1^2 + m_2 r_2^2 + \dots] \\ &= \frac{1}{2} \omega^2 \Sigma m r^2 = \frac{1}{2} I \omega^2 \quad [I = \Sigma m r^2] \end{aligned}$$

I -কে বলা হয় AB অক্ষের সাপেক্ষে ঐ জড়বস্তুর জাড্য-ভ্রামক (moment of inertia)। অতএব অক্ষ থেকে জড়বস্তুর প্রত্যেকটি কণার দূরত্বের বর্গ এবং কণার ভরের গুণফলের সমষ্টি-র সমান হবে জাড্য-ভ্রামক।

একথা উল্লেখযোগ্য যে বস্তুর ভর এবং জাড্য-ভ্রামকের ভিতর সাদৃশ্য আছে। রৈখিক গতির বিরুদ্ধে জড়বস্তুর জাড্যের পরিমাপ হল ভর; আবার আবর্তগতির বিরুদ্ধে জাড্যের পরিমাপ হল বস্তুর জাড্য-ভ্রামক।

● রৈখিক ও আবর্তগতিযুক্ত বস্তুর মোট শক্তি (Total energy of a body having both translational and rotational motion)

কোন বস্তু গড়াতে গড়াতে সম্মুখের দিকে অগ্রসর হলে ওই বস্তুর একই সঙ্গে দু'রকমের গতি থাকে—(i) রৈখিক গতি ও (ii) আবর্ত গতি। ফলে, বস্তু দু-ধরনের গতিশক্তির অধিকারী হয় : (i) ভরকেন্দ্রের রৈখিক গতির দরুন রৈখিক গতিশক্তি এবং (ii) ভরকেন্দ্রের ভিতর দিয়ে অতিক্রান্ত অক্ষ সাপেক্ষে আবর্তনের দরুন আবর্ত গতিশক্তি।

যদি বস্তুর ভর $= m$ ও ভরকেন্দ্রের রৈখিক গতিবেগ $= v$ হয়, তবে রৈখিক গতিশক্তি $= \frac{1}{2} m v^2$; আবার

$$\text{বস্তুর আবর্ত গতিশক্তি} = \frac{1}{2} I \omega^2$$

∴ মোট শক্তি = আবর্ত গতিশক্তি + রৈখিক গতিশক্তি

$$= \frac{1}{2} I \omega^2 + \frac{1}{2} m v^2 = \frac{1}{2} m k^2 \omega^2 + \frac{1}{2} m v^2 = \frac{1}{2} m (k^2 \omega^2 + v^2)$$

[k = আলোচ্য অক্ষ সাপেক্ষে বস্তুর চক্রগতির ব্যাসার্ধ (1.10 অনুচ্ছেদ দেখ)]

এখন, r ব্যাসার্ধের গোলাকার বস্তুর বেলায় $\omega^2 = \frac{v^2}{r^2}$

$$\therefore \text{গোলীয় বস্তুর মোট গতিশক্তি} = \frac{1}{2} m \left(\frac{k^2 v^2}{r^2} + v^2 \right) = \frac{1}{2} m v^2 \left(\frac{k^2}{r^2} + 1 \right)$$

□ EXAMPLES □

1. একটি গোল চাকতির ব্যাস 0.3 m এবং ভর 0.09 kg। চাকতিটি সমতল ভূমির ওপর দিয়ে 6 ms^{-1} বেগে গড়াতে গড়াতে অগ্রসর হলে তার মোট শক্তি কত ?

$$\text{উঃ চাকতির মোট শক্তি} = \frac{1}{2} m v^2 \left(\frac{k^2}{r^2} + 1 \right)$$

এখন, চাকতিটি তার তলের কেন্দ্রগত অভিলম্ব অক্ষের চতুর্দিকে ঘুরতে থাকায় তার চক্রগতির ব্যাসার্ধ $k^2 = \frac{r^2}{2}$ । অতএব, চাকতির মোট গতিশক্তি

$$\begin{aligned} &= \frac{1}{2} m v^2 \left(\frac{r^2}{2r^2} + 1 \right) = \frac{3}{4} m v^2 \\ &= \frac{3}{4} \times 0.09 \times (6)^2 = 2.43 \text{ joule.} \end{aligned}$$

2. θ কোণে আনত একটি নততলের শীর্ষবিন্দু থেকে একটি গোলক-কে ছেড়ে দেওয়া হল। গোলকটি না পিছলে, কেবল গড়িয়ে নামলে তার গতিবেগ কি হবে যখন গোলকটি নততলের পাদদেশে পৌঁছাবে। নততলের দৈর্ঘ্য $= l$ ।

উঃ ধর, গোলকের ভর $= m$ এবং ব্যাসার্ধ $= r$ । মনে কর গোলকটি নততলের পাদদেশে পৌঁছালে তার রৈখিক বেগ $= v$ । যেহেতু গোলকটি না পিছলে কেবল গড়িয়ে নামছে, তাই তার কৌণিক বেগ $\omega = \frac{v}{r}$ ।

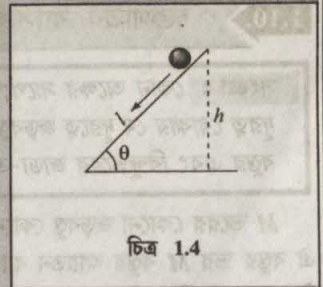
নততলের পাদদেশে গোলকের গতিশক্তি,

$$\begin{aligned} \text{K.E} &= \frac{1}{2} I \omega^2 + \frac{1}{2} m v^2 = \frac{1}{2} \left(\frac{2}{5} m r^2 \right) \omega^2 + \frac{1}{2} m v^2 \\ &= \frac{1}{2} \left(\frac{2}{5} m r^2 \right) \cdot \frac{v^2}{r^2} + \frac{1}{2} m v^2 = \frac{7}{10} m v^2 \end{aligned}$$

এই গতিশক্তি নততলের শীর্ষ থেকে পাদদেশে অবতরণের জন্য গোলকের স্থিতিশক্তি হ্রাসের সমান। এখন স্থিতিশক্তি হ্রাস $= mgh$
 $= m \cdot g \cdot l \sin \theta$ ।

$$\therefore \frac{7}{10} m v^2 = m g l \sin \theta$$

$$\text{অথবা, } v = \sqrt{\frac{10}{7} g \cdot l \cdot \sin \theta}$$



চিত্র 1.4

1.9.

জাড্য-ভ্রামকের ভৌত তাৎপর্য

(Physical significance of moment of inertia) :

একথা উল্লেখযোগ্য যে বস্তুর রৈখিকগতি এবং আবর্তগতির ভিতর যথেষ্ট সাদৃশ্য আছে। যেমন,

$$(i) \text{ রৈখিক গতির বেলাতে গতিশক্তি} = \frac{1}{2} \times \text{ভর} \times (\text{রৈখিক গতিবেগ})^2$$

$$\text{আবার আবর্তগতির বেলাতে, গতিশক্তি} = \frac{1}{2} \times \text{জাড্য-ভ্রামক} \times (\text{কৌণিক বেগ})^2$$

$$(ii) \text{ রৈখিক গতির বেলাতে, বস্তুর উপর } F \text{ বল ক্রিয়া করে } a \text{ রৈখিক ত্বরণ সৃষ্টি করলে, } F = ma \\ = \text{ভর} \times \text{রৈখিক ত্বরণ।}$$

$$\text{তেমনি, আবর্ত গতির বেলাতে, বস্তুর উপর } \tau \text{ টর্ক ক্রিয়া করে } \alpha \text{ কৌণিক ত্বরণ সৃষ্টি করলে,} \\ \tau = I \cdot \alpha = \text{জাড্য-ভ্রামক} \times \text{কৌণিক ত্বরণ।}$$

$$(iii) \text{ রৈখিক গতির বেলাতে, বস্তুর ভরবেগ} = \text{ভর} \times \text{রৈখিক গতিবেগ}$$

$$\text{তেমনি আবর্ত গতির বেলাতে, বস্তুর কৌণিক ভরবেগ} = \text{জাড্য-ভ্রামক} \times \text{কৌণিক গতিবেগ।}$$

রৈখিকগতি এবং আবর্ত গতির উপরোক্ত তুলনামূলক আলোচনা থেকে বোঝা যায় যে, রৈখিক গতিতে বস্তুর ভরের যে ভূমিকা আবর্তগতির ক্ষেত্রে বস্তুর জাড্য-ভ্রামকের সেই ভূমিকা। বস্তু ভর এবং জাড্য-ভ্রামক পরস্পরের সদৃশ (analogous)।

নিউটনের প্রথম গতিসূত্র থেকে আমরা জানি যে-কোনো বস্তু যদি স্থির থাকে, তাহলে তার ধর্মই হল চিরদিন স্থির থাকা এবং যদি গতিশীল হয় তবে চিরদিন সমবেগে সরলরেখায় গতি বজায় রাখা। জড়বস্তু যে অবস্থাতে আছে, বাইরে থেকে বল প্রয়োগে সেই অবস্থার পরিবর্তন করার চেষ্টা করা হলে এই ধর্মের জন্য জড়বস্তু সেই চেষ্টাকে বাধা দেয়। জড়বস্তুর এই ধর্মকে বলা হয় জাড্য (inertia)। বস্তুর ভরের হ্রাস-বৃদ্ধিতে তার জাড্যেরও হ্রাসবৃদ্ধি হয়। এই কারণে রৈখিক গতির ক্ষেত্রে জাড্য পরিমাপ করা হয় বস্তুর ভরের দ্বারা।

একইভাবে, আবর্ত গতির বেলাতেও জড়বস্তু তার আবর্ত গতিবেগ পরিবর্তন করার প্রয়াসকে প্রতিরোধ করার চেষ্টা করে—অথবা আবর্তগতির বেলাতেও বস্তুর উপরোক্ত ধরনের জাড্য প্রকাশ পায়। আবর্ত গতির ক্ষেত্রে বস্তুর এই জাড্য হল জাড্য-ভ্রামক। মনে রাখা দরকার, জাড্য-ভ্রামক শুধু বস্তুর ভরের উপর নির্ভর করে না—ঘূর্ণাক্ষের সাপেক্ষে বস্তুর ভর-বন্টন এবং ঘূর্ণাক্ষের অবস্থানের উপরও নির্ভর করে।

রৈখিক গতির বেলাতে বস্তুর ভর এবং আবর্ত গতির বেলাতে বস্তুর জাড্য-ভ্রামক সদৃশ, কিন্তু তারা সমান না। ঘূর্ণাক্ষ যাই হোক না কেন, বস্তুর ভর অপরিবর্তিত থাকে কিন্তু বিভিন্ন ঘূর্ণাক্ষের বেলায় একই বস্তুর জাড্য-ভ্রামক ভিন্ন হয়।

1.10.

চক্রগতির ব্যাসার্ধ (Radius of gyration) :

সংজ্ঞা : কোন অক্ষের সাপেক্ষে কোনো জড়বস্তুর চক্রগতির ব্যাসার্ধ বলতে ঐ অক্ষ হতে এমন দূরত্ব বোঝায় যে দূরত্বে জড়বস্তুর সমস্ত ভর বিন্দুবৎ জমা আছে মনে করলে, ঐ অক্ষের সাপেক্ষে বস্তুর এবং বিন্দুভরের জাড্য-ভ্রামক সমান হবে।

M ভরের কোনো জড়বস্তু কোনো অক্ষ সাপেক্ষে আবর্তন করলে তার জাড্য-ভ্রামক $I = \sum mr^2$; এখন ঐ বস্তুর ভর M বস্তুর আয়তন ব্যাপী ছড়ানো আছে মনে না করে যদি বিন্দুবৎ মনে করা যায় এবং ঐ বিন্দু ভরকে যদি ঘূর্ণাক্ষ থেকে এরূপ দূরত্বে রাখা যায় যে উক্ত ঘূর্ণাক্ষ সাপেক্ষে ঐ বিন্দুভরের জাড্য-ভ্রামক এবং সমগ্র জড়বস্তুর জাড্য-ভ্রামক সমান হয় তবে ঘূর্ণাক্ষ থেকে বিন্দুভরের ঐ দূরত্বকে বলা হয় চক্রগতির ব্যাসার্ধ। চক্রগতির ব্যাসার্ধ k হলে $I = \sum mr^2 = Mk^2$

c.g.s. পদ্ধতিতে চক্রগতির ব্যাসার্ধের একক সেন্টিমিটার এবং S.I. পদ্ধতিতে মিটার। বলা বাহুল্য, ঘূর্ণাক্ষের অবস্থান অথবা অভিমুখ বদলালে অক্ষ থেকে বস্তুকণাগুলির পারস্পরিক দূরত্ব বদলাবে এবং সেই কারণে ঐ অক্ষের সাপেক্ষে চক্রগতির ব্যাসার্ধের মানও বদলাবে। তাছাড়া বস্তুর কিছু ভর বা উপাদান বস্তুর দেহের এক জায়গা থেকে অন্য জায়গায় সরিয়ে নিলে অথবা ঘূর্ণাক্ষের সাপেক্ষে বস্তুর ভর-বন্টনের পরিবর্তন ঘটালে চক্রগতির ব্যাসার্ধও পরিবর্তিত হবে; যদিও উভয় ক্ষেত্রেই বস্তুর মোট ভর অপরিবর্তিত থাকে। ফলে, জাড্য-ভ্রামক নির্ভর করে (i) বস্তুর ভর, (ii) ঘূর্ণাক্ষের অবস্থান ও অভিমুখ এবং (iii) ঘূর্ণাক্ষের সাপেক্ষে বস্তুর ভর-বন্টনের উপর কিন্তু চক্রগতির ব্যাসার্ধ নির্ভর করে শেষ দুটি শর্তের উপর।

কোন নির্দিষ্ট অক্ষের চতুর্দিকে বস্তুর ঘূর্ণগতির বেলায় বস্তু এরূপভাবে আচরণ করে যেন তার সমগ্র ভর অক্ষ থেকে চক্রগতির ব্যাসার্ধের সমান দূরত্বে এক বিন্দুতে সম্মিলিত আছে। চক্রগতির ব্যাসার্ধের এই ধারণা থেকে আমরা একটি দৃঢ়বস্তুকে একটি কণার দ্বারা প্রতিস্থাপন করতে সক্ষম হই।

*1.11

বিভিন্ন ক্ষেত্রে জাড্য-ভ্রামক নির্ণয় (Calculation of moment of inertia in different cases):

(ক) সরু ও সুখম দণ্ডের দৈর্ঘ্যের মধ্যবিন্দু দিয়ে গত এবং দৈর্ঘ্যের অভিলম্ব ভাবে অতিক্রান্ত এক অক্ষ সাপেক্ষে ঘূর্ণায়মান দণ্ডের জাড্য-ভ্রামক :

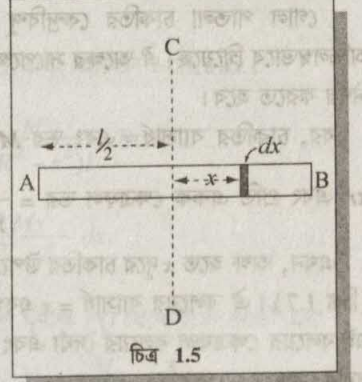
AB একটি সুখম দণ্ড। দণ্ডের দৈর্ঘ্য l এবং ভর M ; দণ্ডের দৈর্ঘ্যের মধ্যবিন্দু (O) দিয়ে এবং দৈর্ঘ্যের অভিলম্বভাবে অতিক্রান্ত অক্ষ CD. D বেড়িয়া দণ্ডটি আবর্তন করলে দণ্ডের জড়তা-ভ্রামক এবং চক্রগতির ব্যাসার্ধ নির্ণয় করতে হবে।

দণ্ডটি সুখম হওয়ায়, তার প্রতি একক দৈর্ঘ্যের ভর $\frac{M}{l}$; অক্ষ হতে x দূরে dx দৈর্ঘ্যের একটি অতি ক্ষুদ্র অংশ নেওয়া হল (চিত্র 1.5)

এই ক্ষুদ্র অংশের ভর $= \frac{M}{l} \times dx$; অংশটি ক্ষুদ্র হওয়ায়, তার প্রত্যেকটি কণা CD অক্ষ হতে সমদূরবর্তী বলে মনে করা যেতে পারে এবং এই দূরত্ব $= x$.

∴ CD অক্ষের সাপেক্ষে ঐ ক্ষুদ্র অংশের জাড্য-ভ্রামক $= \frac{M}{l} \times dx \times x^2$

এখন, $x = 0$ এবং $x = l/2$ এই সীমার মধ্যে উক্ত জাড্য-ভ্রামকের সমাকল বা ইন্টিগ্রেশন নিলে, আমরা দণ্ডের এক অর্ধের জাড্য-ভ্রামক পাব। অতঃপর ঐ ফলাফলের দ্বিগুণ করলে সমগ্র দণ্ডের জাড্য-ভ্রামক পাওয়া যাবে।



$$\begin{aligned}
 I &= 2 \int_0^{l/2} \frac{M}{l} \times dx \times x^2 = \frac{2M}{l} \int_0^{l/2} x^2 dx = \frac{2M}{l} \left[\frac{x^3}{3} \right]_0^{l/2} \\
 &= \frac{2M}{l} \left[\frac{(l/2)^3}{3} - 0 \right] \\
 &= \frac{2M}{l} \times \frac{l^3}{24} = \frac{Ml^2}{12}
 \end{aligned}$$

আবার চক্রগতির ব্যাসার্ধ k হলে, $Mk^2 = \frac{Ml^2}{12} \therefore k = \frac{l}{\sqrt{12}} = \frac{l}{2\sqrt{3}}$

(খ) পূর্বোক্ত দণ্ডের জাড্য-ভ্রামক, যখন ঘূর্ণাক্ষ ঐ দণ্ডের একপ্রান্ত দিয়ে এবং দণ্ডের দৈর্ঘ্যের অভিলম্বভাবে চলে গেছে।

এক্ষেত্রে ঘূর্ণাক্ষ CD দণ্ডের একপ্রান্ত, ধর, A প্রান্ত দিয়ে এবং দণ্ডের দৈর্ঘ্যের অভিলম্বভাবে গিয়েছে। দণ্ডের দৈর্ঘ্য $= l$; এবং ভর $= M$; দণ্ডটি সুস্থম হওয়ায়, তার প্রতি একক দৈর্ঘ্য ভর $= \frac{M}{l}$ ।

পূর্বের ন্যায় অক্ষ হতে x দূরে dx দৈর্ঘ্যের একটি অতি ক্ষুদ্র অংশ নেওয়া হল (চিত্র 1.6)। ঐ ক্ষুদ্র অংশের ভর $= \frac{M}{l} \times dx$; অংশটি খুব ক্ষুদ্র হওয়ায় তার প্রত্যেকটি কণা অক্ষ থেকে সমদূরবর্তী বলে মনে করা যেতে পারে এবং এই দূরত্ব $= x$ ।

অতএব, CD অক্ষ সাপেক্ষে ঐ ক্ষুদ্র অংশের জাড্য-ভ্রামক $= \frac{M}{l} \times dx \times x^2$ । এখন, $x=0$ এবং $x=l$ এই সীমার মধ্যে উপরোক্ত জাড্য-ভ্রামকের ইন্টিগ্রেশান নিলে, সমগ্র দণ্ডের জাড্য-ভ্রামক পাওয়া যাবে। এই জাড্য-ভ্রামক I হলে,

$$I = \int_0^l \frac{M}{l} \cdot x^2 dx = \frac{M}{l} \int_0^l x^2 dx = \frac{M}{l} \left[\frac{x^3}{3} \right]_0^l = \frac{M}{l} \times \frac{l^3}{3} = \frac{Ml^2}{3}$$

এক্ষেত্রে, চক্রগতির ব্যাসার্ধ $k = \frac{l}{\sqrt{3}}$ ।

(গ) একটি পাতলা গোল চাকতির তলের অভিলম্বভাবে এবং চাকতির কেন্দ্রবিন্দু দিয়ে অতিক্রান্ত ঘূর্ণাক্ষের সাপেক্ষে চাকতির জাড্য-ভ্রামক:

গোল পাতলা চাকতির কেন্দ্রবিন্দু O ; ঘূর্ণাক্ষ PQ ঐ কেন্দ্রবিন্দুর মধ্য দিয়ে চাকতির তলের অভিলম্বভাবে গিয়েছে। ঐ অক্ষের সাপেক্ষে চাকতির জাড্য-ভ্রামক নির্ণয় করতে হবে।

ধর, চাকতির ব্যাসার্ধ r এবং ভর M ; চাকতির ক্ষেত্রফল $= \pi r^2$ এবং প্রতি একক ক্ষেত্রফল ভর $= \frac{M}{\pi r^2}$ ।

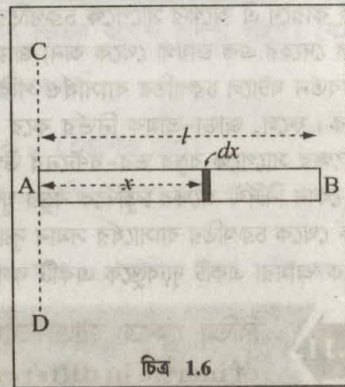
এখন, অক্ষ হতে x দূরে চাকতির উপরে একটি সরু বলয় নাও (চিত্র 1.7)। ঐ বলয়ের ব্যাসার্ধ $= x$ এবং প্রস্থ (width) $= dx$; এই বলয়ের ক্ষেত্রফল বলয়ের দৈর্ঘ্য এবং তার প্রস্থের গুণফলের সমান। বলয়ের ক্ষেত্রফল $= 2\pi x \cdot dx$ ।

অতএব, বলয়ের ভর $= \frac{M}{\pi r^2} \times 2\pi x \cdot dx = \frac{2M}{r^2} x \cdot dx$ ।

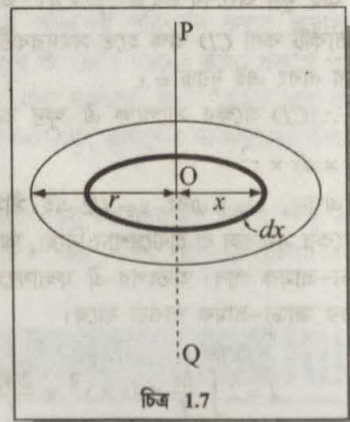
এই বলয় সরু হওয়ায়, এর প্রতিটি কণা PQ অক্ষ হতে সমদূরবর্তী বলে মনে করা যেতে পারে এবং এই দূরত্ব $= x$ ।

সুতরাং, PQ অক্ষ সাপেক্ষে এই বলয়ের জাড্য-ভ্রামক $= \frac{2M}{r^2} x dx \times x^2$

যেহেতু সমস্ত চাকতিকে অনেকগুলি এককেন্দ্রীয় বলয়ে (যাদের ব্যাসার্ধ হবে 0 হতে r) ভাগ করা যেতে পারে, সেইহেতু উপরিউক্ত বলয়ের জাড্য-ভ্রামককে $x=0$ এবং $x=r$ সীমার মধ্যে ইন্টিগ্রেট করলে, আমরা সমগ্র চাকতির জাড্য-ভ্রামক (I) পাব। সুতরাং,



চিত্র 1.6



চিত্র 1.7

$$I = \int_0^r \frac{2M}{r^2} \cdot x dx \times x^2 = \frac{2M}{r^2} \int_0^r x^3 dx = \frac{2M}{r^2} \left[\frac{x^4}{4} \right]_0^r = \frac{2M}{r^2} \times \frac{r^4}{4} = \frac{Mr^2}{2}$$

এক্ষেত্রে, চক্রগতির ব্যাসার্ধ $k = \frac{r}{\sqrt{2}}$.

(ঘ) একটি ফাঁপা চোঙ স্থিতি অক্ষ সাপেক্ষে ঘূর্ণায়মান থাকলে তার জাড্য-ভ্রামক :

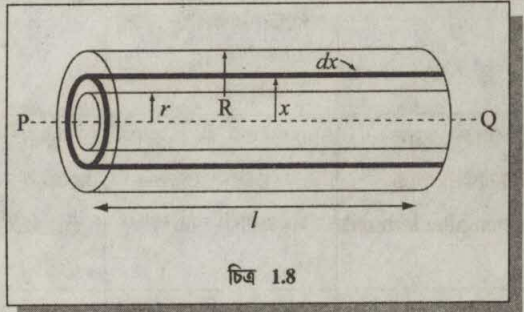
ফাঁপা চোঙের প্রস্থচ্ছেদ $= \pi(R^2 - r^2)$.

[R = চোঙের বাইরের ব্যাসার্ধ এবং r = ভিতরের ব্যাসার্ধ]

চোঙের দৈর্ঘ্য l হলে, তার আয়তন $= \pi(R^2 - r^2)l$.

অতএব, চোঙের উপাদানের ঘনত্ব

$$= \frac{\text{ভর}}{\text{আয়তন}} = \frac{M}{\pi(R^2 - r^2)l}$$



ধর, চোঙটি কতকগুলি পাতলা সমাক্ষীয় (co-axial) চোঙের সমষ্টি এবং এরূপ একটি চোঙের ব্যাসার্ধ ও প্রস্থ যথাক্রমে x এবং dx (চিত্র 1.8)।

অতএব, এই পাতলা চোঙের উপরতলের ক্ষেত্রফল $= 2\pi x \cdot dx$. এবং আয়তন $= 2\pi x \cdot dx \cdot l$.

$$\begin{aligned} \text{অতএব, এই পাতলা চোঙের ভর} &= \text{ঘনত্ব} \times \text{আয়তন} = \frac{M}{\pi(R^2 - r^2)l} \times 2\pi x dx \cdot l \\ &= \frac{2Mx}{(R^2 - r^2)} \cdot dx. \end{aligned}$$

যেহেতু চোঙটি খুব পাতলা সেহেতু এই চোঙের প্রত্যেকটি কণা ঘূর্ণাক্ষ PQ থেকে সমদূরবর্তী এবং এই দূরত্ব $= x$; এই পাতলা চোঙের জাড্য-ভ্রামক $= \frac{2Mx}{(R^2 - r^2)} \cdot x^2 \times dx = \frac{2M}{(R^2 - r^2)} x^3 dx$.

এখন, $x=r$ এবং $x=R$ এই সীমার মধ্যে উপরিউক্ত জাড্য-ভ্রামকের ইন্টিগ্রেশন নিলে, আমরা সমগ্র চোঙের জাড্য-ভ্রামক (I) পাব।

$$\begin{aligned} I &= \int_r^R \frac{2M}{(R^2 - r^2)} x^3 dx = \frac{2M}{(R^2 - r^2)} \int_r^R x^3 dx \\ &= \frac{2M}{(R^2 - r^2)} \left[\frac{x^4}{4} \right]_r^R = \frac{2M}{(R^2 - r^2)} \times \frac{(R^4 - r^4)}{4} = \frac{M}{2} (R^2 + r^2) \end{aligned}$$



[দ্রঃ চোঙটি ফাঁপা না হয়ে যদি নিরেট হয় তবে জাড্য-ভ্রামক = $\frac{1}{2} Mr^2$]

বিভিন্ন সুখম বস্তুর ক্ষেত্রে জাড্য-ভ্রামক এবং চক্রগতির ব্যাসার্ধ

বস্তু	ঘূর্ণাক্ষের প্রকৃতি	জাড্য-ভ্রামক (I)	চক্রগতির ব্যাসার্ধ (k)
1. সুখম সরু দণ্ড	দণ্ডের মধ্যবিন্দু দিয়ে এবং দৈর্ঘ্যের অভিলম্বভাবে গত	$MI^2/12$ [M = ভর; I = দণ্ডের দৈর্ঘ্য]	$\frac{l}{2\sqrt{3}}$
2. ,,	দণ্ডের একপ্রান্ত দিয়ে এবং দৈর্ঘ্যের অভিলম্বভাবে গত	$MI^2/3$	$\frac{l}{\sqrt{3}}$
3. পাতলা সুখম আয়তাকার পাত (rectangular lamina)	কেন্দ্রবিন্দু দিয়ে এবং যে-কোনো বাহুর সমান্তরালে গত	(i) $MI^2/12$ (অক্ষ পাতের প্রস্থ b -এর সমান্তরাল) (ii) $MB^2/12$ (অক্ষ পাতের দৈর্ঘ্য l -এর সমান্তরাল)	$\frac{l}{2\sqrt{3}}$ $\frac{b}{2\sqrt{3}}$
4. পাতলা গোল চাকতি	কেন্দ্রবিন্দু দিয়ে এবং চাকতির তলের অভিলম্বভাবে গত	$Mr^2/2$ [r = চাকতির ব্যাসার্ধ]	$\frac{r}{\sqrt{2}}$
5. পাতলা চ্যাপ্টা বলয় (annular ring)	কেন্দ্রবিন্দু দিয়ে এবং বলয়ের তলের অভিলম্বভাবে গত	$\frac{M}{2} (R^2 + r^2)$ [R = বলয়ের বহির্ব্যাসার্ধ r = বলয়ের অন্তর্ব্যাসার্ধ]	$\sqrt{(R^2 + r^2)/2}$
6. নিরেট গোলক	যে-কোনো ব্যাস	$\frac{2}{5} Mr^2$ [r = গোলকের ব্যাসার্ধ]	$\sqrt{\frac{2}{5}} \cdot r$
7. ফাঁপা গোলক	যে-কোনো ব্যাস	$\frac{2M(R^5 - r^5)}{5(R^3 - r^3)}$ [R = বহির্ব্যাসার্ধ r = অন্তর্ব্যাসার্ধ]	$\sqrt{\frac{2(R^5 - r^5)}{5(R^3 - r^3)}}$
8. ফাঁপা চোঙ (hollow cylinder)	চোঙের নিজস্ব অক্ষ হল ঘূর্ণাক্ষ	$\frac{M}{2} (R^2 + r^2)$ [R = চোঙের বহির্ব্যাসার্ধ r = চোঙের অন্তর্ব্যাসার্ধ]	$\sqrt{\frac{R^2 + r^2}{2}}$

□ EXAMPLE □

1. m ভর ও l দৈর্ঘ্যবিশিষ্ট একটি সুখম দণ্ডের একপ্রান্ত আটকানো আছে। দণ্ডটিকে অনুভূমিক অবস্থান থেকে আস্তে আস্তে ছেড়ে দেওয়া হল। দণ্ডটি যখন উল্লম্ব অবস্থানে আসবে তখন দণ্ডটির কৌণিক বেগ কী হবে ?

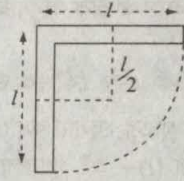
উঃ দণ্ডটি অনুভূমিক অবস্থান থেকে উল্লম্ব অবস্থানে এলে ভরকেন্দ্র $l/2$ দূরত্ব নীচে নেমে আসবে

[চিত্র 1.9]। ফলে দণ্ডের অভিকর্ষীয় স্থিতিশক্তি হ্রাস পাবে। এই হ্রাস

$= \frac{1}{2} mgl$ । এবং এটা দণ্ডের গতিশক্তির সমান হবে। দণ্ডটি তার বন্ধ প্রান্তের ভিতর দিয়ে গত অনুভূমিক অক্ষ সাপেক্ষে আবর্তগতি করায় তাই দণ্ডের জাড্য-ভ্রামক $I = ml^2/3$ ।

$$\therefore \frac{1}{2} I \omega^2 = \frac{1}{2} mgl$$

$$\text{অথবা, } \frac{ml^2}{3} \cdot \omega^2 = glm \therefore \omega = \sqrt{\frac{3g}{l}}$$



চিত্র 1.9

1.12.

কৌণিক ভরবেগ অথবা ভরবেগের ভ্রামক এবং তার সঙ্গে টর্কের সম্পর্ক (Angular momentum or moment of momentum and its relation with torque):

আবর্ত গতিযুক্ত কোনো জড়বস্তুর ক্ষেত্রে টর্ক $\tau = \Sigma mr^2 \cdot \alpha = I\alpha$ [1.7 অনুচ্ছেদ দ্রষ্টব্য]

এখন যদি বস্তু t অবকাশে উক্ত কৌণিক ত্বরণ α লাভ করে এবং ঐ সময়ে তার কৌণিক বেগ ω_1 হতে পরিবর্তিত হয়ে ω_2 হয়, তবে $\alpha = \frac{\omega_2 - \omega_1}{t}$

$$\text{অতএব, } \tau = \frac{I(\omega_2 - \omega_1)}{t} = \frac{I \cdot \omega_2 - I \cdot \omega_1}{t} \dots (i)$$

রৈখিক গতির বেলায় আমরা দেখেছি, বস্তুর উপর প্রযুক্ত বল F নিম্নলিখিত সমীকরণ হতে পাওয়া যায়

$$F = \frac{mv_2 - mv_1}{t}$$

এই সমীকরণ দুটি তুলনা করলে দেখা যায় যে, রৈখিক ভরবেগ যদি $m \times v$ হয়, তবে $I \times \omega$ হবে কৌণিক ভরবেগ অথবা ভরবেগের ভ্রামক।

সংজ্ঞা : ঘূর্ণায়মান বস্তুর জাড্য-ভ্রামক ও কৌণিক বেগের সমন্বয়ে বস্তুর যে ধর্মের উৎপত্তি হয় তাকে ঐ বস্তুর কৌণিক ভরবেগ বলে।

c.g.s. পদ্ধতিতে কৌণিক ভরবেগকে $\text{gcm}^2\text{s}^{-1}$ এককে এবং S.I. পদ্ধতিতে $\text{kgm}^2\text{s}^{-1}$ এককে প্রকাশ করা হয়। এর মাত্রা $[ML^2T^{-1}]$ ।

ঘূর্ণায়মান কোনো জড়বস্তুর কৌণিক ভরবেগের পরিমাপ হবে ঐ বস্তুর কৌণিক বেগ এবং ঘূর্ণাক্ষের সাপেক্ষে তার জাড্য-ভ্রামকের গুণফল। কৌণিক ভরবেগ $L = I\omega$ । কৌণিক বেগের মতো কৌণিক ভরবেগও একটি অক্ষীয় ভেক্টর।

আবার, (i) নং সমীকরণ হতে লেখা যায়, $\tau \cdot t = I\omega_2 - I\omega_1$

অর্থাৎ, টর্ক \times সময় = ঐ সময়ে বস্তুর কৌণিক ভরবেগের পরিবর্তন। এটাই টর্ক ও কৌণিক ভরবেগের সম্পর্ক। লক্ষণীয় যে টর্ক যে-অক্ষের সাপেক্ষে ক্রিয়া করে কৌণিক ভরবেগের পরিবর্তনও সেই অক্ষের সাপেক্ষে হয়।

টর্ক τ এবং কৌণিক ভরবেগ L হলে, $\tau \times t = L$ -এর পরিবর্তন

অথবা $\tau = \frac{L}{t}$ = কৌণিক ভরবেগের পরিবর্তনের হার

$$\text{কালকুলাস প্রতীক অনুযায়ী } \vec{\tau} = \frac{d\vec{L}}{dt}$$

এটাই টর্ক এবং কৌণিক ভরবেগের মধ্যে অবকল ভেস্তর সমীকরণ।

রৈখিক গতির বেলায় বল (F) \times সময় (t) এই গুণফলকে বলা হয় ঘাত (impulse)। সাদৃশ্যহেতু টর্ক (τ) \times সময় (t)—এই গুণফলকে বলা যাবে কৌণিক ঘাত (angular impulse)।

1.13.

কৌণিক ভরবেগ সংরক্ষণ সূত্র

(Principle of conservation of angular momentum):

রৈখিক গতির বেলায় যেমন রৈখিক ভরবেগ সংরক্ষণ সূত্র প্রচলিত আছে, ঠিক তেমনি আবর্ত গতির বেলাতেও কৌণিক ভরবেগ সংরক্ষণ সূত্র প্রমাণ করা যেতে পারে।

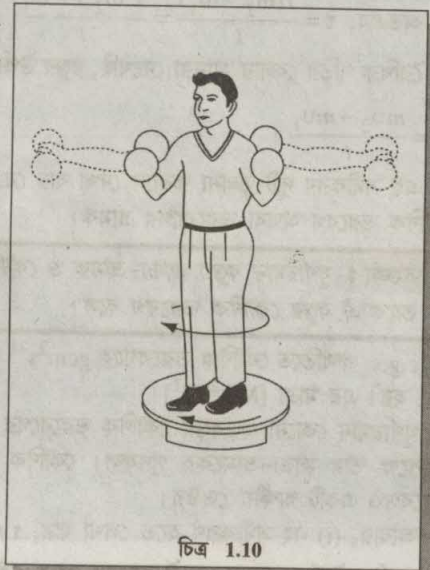
● সূত্র : বাইরে থেকে কোনো টর্ক প্রযুক্ত না হলে কোনো অক্ষ সাপেক্ষে ঘূর্ণায়মান বস্তুর কৌণিক ভরবেগ সর্বদা সংরক্ষিত থাকে।

পূর্ব অনুচ্ছেদে আমরা দেখেছি, $\tau \cdot t = I\omega_2 - I\omega_1$.

এখন, টর্ক প্রযুক্ত না হলে, $\tau \times t = 0$; অতএব, $I\omega_2 = I\omega_1$ । অর্থাৎ চূড়ান্ত কৌণিক ভরবেগ সর্বদা প্রারম্ভিক কৌণিক ভরবেগের সমান। এটাই কৌণিক ভরবেগ সংরক্ষণ সূত্র।

এই সংরক্ষণ সূত্র সত্য হলে কৌণিক বেগ বৃদ্ধি পাবে জাড্য-ভ্রামক হ্রাস পেলে; আবার কৌণিক বেগ হ্রাস পাবে জাড্য-ভ্রামক বৃদ্ধি পেলে। এটা নিম্নলিখিত কৌতূহলোদ্দীপক পরীক্ষার সাহায্যে প্রমাণ করা যায়।

পরীক্ষা : দুই হাতে সমান ওজনের দুটি ডাম্বেল নিয়ে এক ব্যক্তি একটি ঘূর্ণায়মান টেবিলের উপর দাঁড়িয়ে আছে। তাকে অনুভূমিকভাবে দুই হাত প্রসারিত করতে বলা হল এবং ঐ অবস্থায় টেবিলকে কিছু বেগে ঘুরিয়ে দেওয়া হল [চিত্র 1.10]। এইবার যদি ঐ ব্যক্তি হাত দুটি গুটিয়ে বুকের কাছে আনে, তবে দেখা যাবে যে টেবিলের কৌণিক গতিবেগ কিছু বৃদ্ধি পেয়েছে। পুনরায় দুই হাত প্রসারিত করলে টেবিলের কৌণিক বেগ হ্রাস পাবে। কৌণিক বেগের হ্রাস-বৃদ্ধি টেবিলে দণ্ডায়মান ব্যক্তিই সব চাইতে ভাল উপলব্ধি করবে। তার মনে হবে যেন কোনো রহস্যজনক বল তার উপর ক্রিয়া করে কৌণিক বেগের হ্রাসবৃদ্ধি করছে। এখন, দুই হাত প্রসারিত করলে, ঘূর্ণাক্ষের সাপেক্ষে ঐ ব্যক্তির জাড্য-ভ্রামক বৃদ্ধি পায় এবং হাত গুটিয়ে নিলে জাড্য-ভ্রামক কমে যায়। কৌণিক ভরবেগ ধ্রুবক বলে প্রথম ক্ষেত্রে কৌণিক বেগ হ্রাস পায় এবং দ্বিতীয় ক্ষেত্রে কৌণিক বেগ বৃদ্ধি পায়।



চিত্র 1.10

বরফের উপর স্কেটিং করার সময় অথবা বরফের উপর নৃত্যপ্রদর্শনীর সময় উপরিউক্ত পদ্ধতিতে কৌণিক বেগ বৃদ্ধি বা হ্রাস করে খেলা দেখানো হয়। জলে ডাইভ দেবার সময় কোনো ব্যক্তি যখন পাটাতন থেকে ঝাঁপ দেয় তখন ইচ্ছামতো হাত পা গুটিয়ে বা ছড়িয়ে জলস্পর্শ করার পূর্বে শূন্যে বেশি বা কম সংখ্যক সামারসল্ট বা ডিগবাজি (somersault) খেতে পারে।

□ EXAMPLES □

1. একটি সুতোর একপ্রান্তে একটি ক্ষুদ্র বস্তুকে বেঁধে অনুভূমিক বৃত্ত বরাবর ঘোরানো হচ্ছে। সুতোর অপরপ্রান্ত অনুভূমিক টেবিলের কেন্দ্রে একটি ছিদ্র দিয়ে ঝুলে আছে। বস্তুটি 40 cm ব্যাসার্ধের বৃত্তপথে সেকেন্ডে 3 বার পূর্ণ চক্র প্রদক্ষিণ করছে। এখন সুতো টেনে বৃত্তপথের ব্যাসার্ধ 20 cm করলে তার ঘূর্ণনের গতিবেগ কি হবে?

উঃ। ঘূর্ণায়মান বস্তুর উপর বাইরে থেকে কোনো টর্ক ক্রিয়া করছে না এবং ঘর্ষণও অনুপস্থিত। এক্ষেত্রে কৌণিক ভরবেগ সংরক্ষণ সূত্র প্রয়োগ করা যাবে। এই সূত্রানুসারে, $I_1\omega_1 = I_2\omega_2$

$$\text{এখন, } I_1 = mr_1^2 = m \times (40)^2 \text{ এবং } I_2 = mr_2^2 = m \times (20)^2;$$

$$\text{তাহাড়া, } \omega_1 = 3 \text{ r.p.s. } \therefore m \times (40)^2 \times 3 = m \times (20)^2 \times \omega_2 \text{ অথবা, } \omega_2 = 12 \text{ r.p.s.}$$

2. 100 g ভর এবং 10 cm ব্যাসার্ধের গোল চাকতি তার কেন্দ্রগত উল্লম্ব অক্ষের সাপেক্ষে 40 r.p.m. বেগে আবর্তন করছে। 20 g ভরের মোমের একটি টুকরোকে চাকতির কেন্দ্রে হতে 8 cm দূরে আস্তে ফেলা হল। চাকতির বর্তমান আবর্তবেগ কী হবে?

উঃ। এক্ষেত্রে বাইরে থেকে টর্ক ক্রিয়া না করায় কৌণিক ভরবেগ সংরক্ষণ সূত্র প্রযুক্ত হবে। মোমের টুকরো ফেলার পূর্বে চাকতির কৌণিক ভরবেগ = $I\omega$

$$\text{এখন, কেন্দ্রগত উল্লম্ব অক্ষের সাপেক্ষে চাকতির জাড্য-ভ্রামক* } I = \frac{Mr^2}{2} = \frac{1}{2} \times 100 \times (10)^2 = 5 \times 10^3 \text{ g-cm}^2$$

$$\text{কাজেই কৌণিক ভরবেগ} = 5 \times 10^3 \times \omega \quad [40 \text{ r.p.m. -এর উপযোগী কৌণিক গতিবেগ} = \omega]$$

$$\text{মোমের টুকরো ফেলার পর চাকতি ও টুকরোর মোট কৌণিক ভরবেগ} = I\omega_1 + m \times r^2 \omega_1$$

$$= 5 \times 10^3 \times \omega_1 + 20 \times (8)^2 \times \omega_1 = 6.28 \times 10^3 \times \omega_1 \quad [\omega_1 = \text{নতুন কৌণিক গতিবেগ}]$$

$$\text{কৌণিক ভরবেগ সংরক্ষণ সূত্রানুযায়ী, } 5 \times 10^3 \times \omega = 6.28 \times 10^3 \times \omega_1$$

$$\therefore \frac{\omega_1}{\omega} = \frac{500}{628} = \frac{2\pi n_1}{2\pi \times 40} \quad [\text{নতুন আবর্ত গতিবেগ} = n_1 \text{ r.p.m.}]$$

$$\text{অথবা, } n_1 = \frac{500 \times 40}{628} = 32 \text{ r.p.m. (প্রায়)}।$$

3. নিজস্ব অক্ষ সাপেক্ষে একটি চক্রের জাড্যভ্রামক 4 kg-m^2 । চক্রটি অক্ষের চতুর্দিকে 100 r.p.m. বেগে ঘুরছে। এক মিনিটে চক্রকে স্থিরাবস্থায় আনতে কত টর্কের প্রয়োজন হবে?

$$\text{উঃ চক্রের প্রাথমিক কৌণিক বেগ} = 100 \text{ r.p.m.} = \frac{2\pi n}{60} \text{ rads}^{-1} = \frac{2\pi \times 100}{60} = \frac{10\pi}{3} \text{ rads}^{-1}$$

$$\text{আমরা জানি কৌণিক ত্বরণ } \alpha = \frac{\omega - \omega_0}{t} = \frac{0 - \frac{10\pi}{3}}{60} \text{ rads}^{-2} = -\frac{\pi}{18} \text{ rads}^{-2}$$

$$\text{যে টর্ক উপরোক্ত কৌণিক মন্দন সৃষ্টি করবে তা } \tau = I\alpha = 4 \times \frac{\pi}{18} = \frac{2\pi}{9} \text{ N-m.}$$

4. যদি পৃথিবীর ব্যাসার্ধ $\frac{1}{2}$ শতাংশ কমে যায়, তবে দিনের দৈর্ঘ্য কতটা পরিবর্তন করবে? ধরে নাও পৃথিবী একটি সুখম গোলক এবং এর জাড্য-ভ্রামক $I = \frac{2}{5} MR^2$ যেখানে M এবং R যথাক্রমে পৃথিবীর ভর এবং ব্যাসার্ধ। [Jt. Entrance 1998]

* গোলাকার চাকতির ভর M এবং ব্যাসার্ধ r হলে প্রমাণ করা যায় যে কেন্দ্রগত উল্লম্ব অক্ষের সাপেক্ষে তার জাড্য-ভ্রামক $I = \frac{1}{2} Mr^2$ (16 পৃষ্ঠার তালিকা দেখ)।

উঃ। যেহেতু বাইরে থেকে কোনো টর্ক ক্রিয়া করছে না, তাই কৌণিক ভরবেগ সংরক্ষণ সূত্রানুযায়ী প্রাথমিক কৌণিক ভরবেগ = চূড়ান্ত কৌণিক ভরবেগ অথবা, $I_1\omega_1 = I_2\omega_2$

$$\text{এখন, } I_1 = \frac{2}{5}MR^2; \omega_1 = \frac{2\pi}{24}; I_2 = \frac{2M}{5}\left(\frac{99.5}{100} \cdot R\right)^2; \omega_2 = \frac{2\pi}{T}$$

(পৃথিবীর ভর অপরিবর্তিত আছে ধরে নেওয়া হল)

$$\text{অতএব, } \frac{2}{5}MR^2 \times \frac{2\pi}{24} = \frac{2}{5}M \times \left(\frac{99.5}{100} \cdot R\right)^2 \times \frac{2\pi}{T}$$

$$\text{অথবা, } \frac{R^2}{24} = \left(\frac{99.5}{100}\right)^2 \cdot R^2 \times \frac{1}{T} \quad \therefore T = \left(\frac{99.5}{100}\right)^2 \times 24 = 23.76 \text{ hour}$$

$$\therefore \text{দিনের দৈর্ঘ্যের পরিবর্তন} = 24 - 23.76 \text{ hour} = 0.24 \text{ hour} = 14 \text{ min } 24 \text{ s}$$

1.14.

বৃত্তাকার পথে গতি : ব্যাসার্ধমুখী বা অভিলম্ব ত্বরণ (Motion in a circular path ; Radial or normal acceleration) :

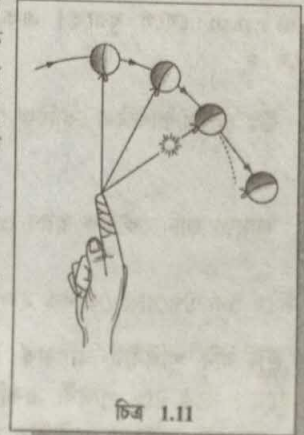
কোনো কণা বৃত্তপথে সমদ্রুতিতে পরিভ্রমণ করলে বলা হয় কণাটি সুষম বৃত্তগতিতে (uniform circular motion) পরিভ্রমণ করছে। এই ধরনের গতিতে কণার গতিবেগের অভিমুখ পরিবর্তন করে; গতিবেগের মান পরিবর্তন করে না। নিউটনের প্রথম গতিসূত্র হতে বোঝা যায় যে এক্ষেত্রে বৃত্তকণার উপর বাইরে থেকে বল ক্রিয়া করছে। কারণ বাইরে থেকে বল ক্রিয়া না করলে গতিবেগ পরিবর্তিত হয় না। যেহেতু বৃত্তপথে পরিভ্রমণকালে বৃত্তকণার গতিবেগের অনবরত পরিবর্তন হয় সেইহেতু বাহ্যিক বলও বৃত্তকণার উপর সর্বদা ক্রিয়া করবে।

এই বাহ্যিক বলের অভিমুখ এরূপ হতে হবে যে এই বলের ক্রিয়ায় ঘূর্ণায়মান বস্তুর গতিবেগের কেবলমাত্র অভিমুখের পরিবর্তন হয়; মানের কোনো পরিবর্তন না হয়। এটা একমাত্র সম্ভব যদি বাহ্যিক বল বস্তুর গতিবেগের অভিলম্বভাবে ক্রিয়া করে। যদি বাহ্যিক বলের অভিমুখ অন্য কোনো দিকে হয় তবে বৃত্তকণার গতির অভিমুখে ঐ বলের একটি উপাংশ পাওয়া যাবে যা বৃত্তকণার দ্রুতির পরিবর্তন ঘটাবে। অতএব, বলা যায় কেন্দ্রাভিমুখী এই বল সম্পূর্ণরূপে ব্যয়িত হয় বৃত্তকণার গতির অভিমুখ পরিবর্তন করতে। এর কোনো অংশই বৃত্তকণার দ্রুতি পরিবর্তন করার জন্য পাওয়া যায় না।

এখন বৃত্তপথের যে-কোনো বিন্দুতে বৃত্তকণার গতির অভিমুখ ঐ বিন্দুতে অঙ্কিত বৃত্তের স্পর্শক (tangent) বরাবর। অতএব, বাহ্যিক বলকে বৃত্তের প্রতি বিন্দুতে অঙ্কিত স্পর্শকের অভিলম্ব দিকে ক্রিয়া করতে হবে। বৃত্তের ব্যাসার্ধ এবং স্পর্শক পরস্পরের অভিলম্ব হওয়ায়, বাহ্যিক বল সর্বদা বৃত্তের ব্যাসার্ধ বরাবর ক্রিয়া করবে, অথবা বাহ্যিক বল সর্বদা বৃত্তের কেন্দ্রমুখী হবে।

দৃষ্টান্ত : বৃত্তপথের প্রতি বিন্দুতে বৃত্তকণার গতির অভিমুখ ঐ বিন্দুর স্পর্শক বরাবর হয় এর অনেক দৃষ্টান্ত আমাদের চোখে পড়ে। জল-কাদার রাস্তায় যখন জোরে সাইকেল চালানো হয়, তখন দেখা যায় সাইকেলের চাকা থেকে কাদার কণাগুলি স্পর্শক বরাবর ছুটে যাচ্ছে। ঘুরন্ত শানে যখন ছুরি, কাঁচি প্রভৃতি শান দেওয়া হয় তখন আগুনের ফুলকি চাকার স্পর্শক বরাবর ছুটে থাকে।

বৃত্তকণা যখন বৃত্তপথে ঘোরে, তখন তার উপর ক্রিয়ারত ব্যাসার্ধমুখী বলের উদাহরণ প্রায়ই আমরা দেখতে পাই। যখন সুতোয় বাঁধা কোনো পাথরখণ্ডকে সুতো ধরে ঘোরানো হয়, তখন সর্বদা আঙ্গুল দিয়ে সুতোর মাধ্যমে বস্তুর উপর বৃত্তের কেন্দ্রাভিমুখী বল প্রয়োগ করতে হয় [চিত্র 1.11]। সুতো ছিঁড়ে গেলে, ঐ বল আর ক্রিয়া করে না; তখন পাথরখণ্ডও আর বৃত্তপথে না ঘুরে



সরলরেখা বরাবর চলে যায়।

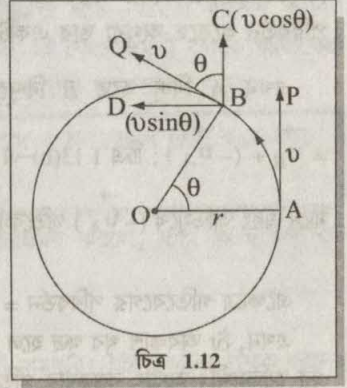
বস্তুর উপর বল ক্রিয়া করলে বলের অভিমুখে বস্তুর একটি ত্বরণ উৎপন্ন হয়। সমঘূর্ণগতির ক্ষেত্রেও বস্তু সর্বদা কেন্দ্রাভিমুখী একটি ত্বরণ অনুভব করে। এই ত্বরণকে বলা হয় ব্যাসার্ধমুখী ত্বরণ বা অভিলম্ব ত্বরণ।

সংজ্ঞা : বৃত্তপথে সমদ্রুতিতে ঘূর্ণায়মান বস্তুর উপর সর্বদা বৃত্তের কেন্দ্রাভিমুখী একটি ত্বরণ ক্রিয়া করে। একে ব্যাসার্ধমুখী ত্বরণ বা অভিলম্ব ত্বরণ বলে।

● **অভিলম্ব ত্বরণের মান :** ধর, বস্তুকণা v রৈখিক দ্রুতি নিয়ে r ব্যাসার্ধের বৃত্তপথে পরিভ্রমণ করেছে এবং ক্ষুদ্র অবকাশ t সময়ে A বিন্দু হতে B বিন্দুতে গিয়ে অতি ক্ষুদ্র কৌণিক সরণ θ উৎপন্ন করেছে [চিত্র 1.12]। এক্ষেত্রে বস্তুকণার

কৌণিক বেগ $\omega = \frac{\theta}{t}$.

বৃত্তগতির সময় যে-কোনো মুহূর্তে বস্তুকণার দ্রুতি ঐ মুহূর্তে বৃত্তের স্পর্শক বরাবর অভিমুখী হবে। সুতরাং A বিন্দুতে বস্তুকণার রৈখিক বেগ AP স্পর্শক দ্বারা এবং B বিন্দুতে BQ স্পর্শক দ্বারা প্রকাশ করা যায়। এক্ষেত্রে $AP = BQ = v$ । এখন A বিন্দুতে বস্তুকণার সম্পূর্ণ রৈখিক বেগই AP বরাবর; AO বরাবর তার কোনো উপাংশ নাই, কারণ AO এবং AP পরস্পরের লম্ব। B বিন্দুতে বস্তুকণার রৈখিক বেগকে (যা BQ বরাবর ক্রিয়া করছে) AO অভিমুখের সমান্তরাল এবং অভিলম্ব দিকে বিভাজন করলে, প্রথমোক্ত উপাংশ হবে $BD = v \sin \theta$ এবং দ্বিতীয় উপাংশ হবে $BC = v \cos \theta$ ।



চিত্র 1.12

যদি θ খুব ক্ষুদ্র হয়, তবে $\sin \theta = \theta$ (রেডিয়ান এককে) এবং $\cos \theta = 1$.

কাজেই, AO -এর সমান্তরাল BD উপাংশ $= v \cdot \sin \theta = v \cdot \theta$ এবং AO -এর অভিলম্বে BC উপাংশ $= v \cos \theta = v$.

A এবং B বিন্দুদ্বয় খুব কাছাকাছি হলে দেখা যায় যে, AO অভিমুখের অভিলম্ব দিকে (অর্থাৎ AP অথবা BC) বস্তুকণার বেগের কোনো পরিবর্তন হল না, কারণ উভয় ক্ষেত্রেই তা v ; কিন্তু AO অভিমুখে একটি অতিরিক্ত বেগ উৎপন্ন হল। যেহেতু এই বেগ t সময়ে উৎপন্ন হয়েছে, অতএব

$$\text{বস্তুকণার ত্বরণ } a_n = \frac{v \cdot \theta}{t} = v \cdot \omega = v \times \frac{v}{r} = \frac{v^2}{r} \quad \left(\because \omega = \frac{\theta}{t} \text{ এবং } \omega = \frac{v}{r} \right)$$

যেহেতু বৃত্তের সর্বত্র দ্রুতির মান সমান, তাই বৃত্তের যে-কোনো বিন্দুতে বস্তুকণার ত্বরণ ঐ বিন্দুতে বেগের অভিলম্ব হবে—অর্থাৎ ত্বরণ ব্যাসার্ধ বরাবর কেন্দ্রাভিমুখী ক্রিয়া করবে।

$$\text{সুতরাং, বস্তুকণার ব্যাসার্ধমুখী ত্বরণ } a_n = \frac{v^2}{r}.$$

$$\text{বস্তুকণার বৃত্তীয় গতির কম্পাঙ্ক } n \text{ হলে, } \omega = 2\pi n; \text{ অতএব, } a_n = \frac{v^2}{r} = \omega^2 \times r = 4\pi^2 n^2 r$$

● **ভেক্টরের সাহায্যে বিকল্প প্রমাণ :**

মনে করো, কোনো বস্তুকণা v সমদ্রুতি নিয়ে r ব্যাসার্ধের বৃত্তপথে পরিভ্রমণ করছে। A বিন্দুতে গতিবেগ \vec{v}_A -এর অভিমুখ স্পর্শক AC বরাবর; ক্ষুদ্র অবকাশ δt পরে B বিন্দুতে তার গতিবেগ \vec{v}_B -

26.4.2007

এর অভিমুখ স্পর্শক BD বরাবর [চিত্র 1.13(a)]।

বস্তুকণার দ্রুতি বৃত্তের সর্বত্র সমান বলে। \vec{v}_A ।

$$= |\vec{v}_B| = |\vec{v}| \text{। যদিও } \vec{v}_A \text{ এবং } \vec{v}_B$$

উভয়ের মান সমান, তথাপি তাদের অভিমুখ

ভিন্ন। এই কারণে বলা যায় যে A হতে B

বিন্দুতে যাবার সময় বস্তুকণার গতিবেগের

পরিবর্তন হয়েছে অথবা তার একটি ত্বরণ সৃষ্টি হয়েছে।

এখন A বিন্দু হতে B বিন্দুতে যাবার সময় বস্তুকণার গতিবেগের পরিবর্তন $= \vec{v}_B - \vec{v}_A$
 $= \vec{v}_B + (-\vec{v}_A)$; চিত্র 1.13(b)-এ PQ রেখাংশ মানে ও অভিমুখে \vec{v}_B গতিবেগকে এবং QR রেখাংশ
 মানে এবং অভিমুখে $(-\vec{v}_A)$ গতিবেগকে প্রকাশ করছে। QR এবং AC রেখাদ্বয় সমান্তরাল কিন্তু বিপরীতমুখী।

এক্ষেত্রে গতিবেগের পরিবর্তন $= \vec{v}_B + (-\vec{v}_A) = \vec{PR}$ (ভেক্টর ত্রিভুজ সূত্রানুসারে)।

এখন, δt অবকাশ খুব ক্ষুদ্র হলে $\angle AOB$ অর্থাৎ $\delta\theta$ খুব ক্ষুদ্র। অতএব, PR ঐ বৃত্তের কেন্দ্রবিন্দু O -
 এর অভিমুখী। অর্থাৎ বস্তুকণার গতিবেগের পরিবর্তন অথবা ত্বরণ বৃত্তের কেন্দ্রাভিমুখী। এখন,

$$\text{ত্বরণ } a_n = \frac{\text{গতিবেগের পরিবর্তন}}{\text{সময়}} = \frac{PR}{\delta t} = \frac{v_B \delta\theta}{\delta t} = \frac{v \delta\theta}{\delta t} \text{ [কারণ } PR = PQ \cdot \delta\theta = v \cdot \delta\theta]$$

যখন δt খুব ক্ষুদ্র হয়ে প্রায় শূন্যের কাছাকাছি হবে, তখন $\frac{\delta\theta}{\delta t} = \frac{d\theta}{dt} = \omega$ (ω = কৌণিক গতিবেগ)

$$\therefore a_n = \omega \cdot v = \frac{v^2}{r} \quad [\because v = \omega r]$$

● অসম বৃত্তীয় গতি (Non-uniform circular motion) :

কণা যদি অসম দ্রুতিতে বৃত্তীয় পথে পরিভ্রমণ করে, তাহলে প্রতি মুহূর্তে তার গতিবেগের মান ও
 অভিমুখ পরিবর্তন করে। বৃত্তীয় গতির অভিমুখের জন্য তার একটি কেন্দ্রাভিমুখী ত্বরণ—যাকে বলা হয়
 অভিলম্ব ত্বরণ (a_n) উৎপন্ন হয়; আবার বেগের পরিবর্তনশীল মানের (magnitude) জন্য বৃত্তের স্পর্শক
 বরাবর আর একটি ত্বরণ—যাকে বলা হয় স্পর্শকীয় ত্বরণ (tangential acceleration) a_T
 উৎপন্ন হয়। সুতরাং অসম বৃত্তীয় গতির ক্ষেত্রে কোনো মুহূর্তে কণার দুটি ত্বরণ থাকে। আমরা দেখেছি যে

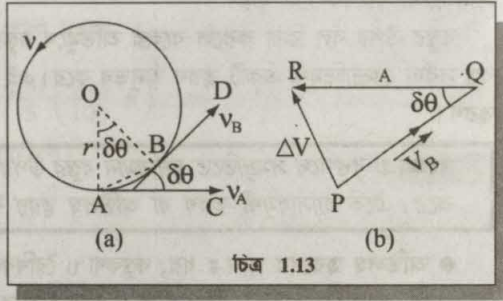
$$a_n = v^2/r \text{ এবং } a_T = \frac{dv}{dt} \text{ [} v = \text{স্পর্শক বরাবর কণার রৈখিক গতিবেগ]}।$$

এই দুই ত্বরণ পরস্পরের লম্ব হওয়ায় [চিত্র 1.14] কণার লম্ব ত্বরণ

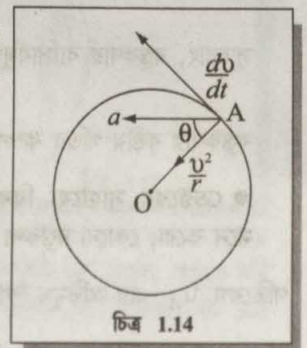
$$a = \sqrt{a_n^2 + a_T^2} = \sqrt{\left(\frac{v^2}{r}\right)^2 + \left(\frac{dv}{dt}\right)^2}$$

লম্ব ত্বরণ a যদি বৃত্তের ব্যাসার্ধের (AO) সঙ্গে θ কোণ করে,

$$\text{তবে } \tan \theta = \left(\frac{dv}{dt}\right) / \left(\frac{v^2}{r}\right)$$



চিত্র 1.13



চিত্র 1.14

(i) সমবৃত্তীয় গতির ক্ষেত্রে, $dv/dt = 0$; অতএব, $a = a_n = v^2/r$

(ii) রৈখিক গতির ক্ষেত্রে, $a_n = 0$; অতএব, $a = a_T = dv/dt$

1.15. অভিকেন্দ্র বল (Centripetal force):

নিউটনের গতিসূত্র থেকে আমরা জানি যে, বাইরে থেকে কোনো বল প্রযুক্ত না হলে, গতিশীল বস্তু সরলরেখায় সমবেগে গতিশীল থাকবে। সুতরাং বস্তু যখন বৃত্তাকার পথে পরিভ্রমণ করে, তখন প্রতি মুহূর্তে তার সরলরেখায় গতিশীল হবার প্রবণতাকে প্রতিরোধ করে বৃত্তাকার পথে ঘোরাবার জন্য বস্তুর উপর একটি বল ক্রিয়া করবে। আমরা পূর্ব অনুচ্ছেদে দেখেছি, সমবৃত্তগতিতে পরিভ্রমণকালে বস্তুর ত্বরণ সর্বদা কেন্দ্রাভিমুখী হয়; অতএব তার উপর ক্রিয়াশীল বলও কেন্দ্রাভিমুখী হবে—অথবা ব্যাসার্ধ বরাবর কেন্দ্রের দিকে ক্রিয়া করবে। সমবৃত্তগতিসম্পন্ন বস্তুর উপর ক্রিয়াশীল এই কেন্দ্রাভিমুখী বলকে **অভিকেন্দ্র বল** (centripetal force) বলে। এই বল বস্তুর ভর ও অভিকেন্দ্র ত্বরণের গুণফলের সমান।

সংজ্ঞা: অভিকেন্দ্র বল এমনই বল, যা সর্বদা বস্তুর গতির সাথে অভিলম্বভাবে ক্রিয়া করে এবং বস্তুকে স্থির দ্রুতিতে বৃত্তপথে পরিভ্রমণ করায়।

m ভরের বস্তুকণা r ব্যাসার্ধের বৃত্তপথে v দ্রুতি নিয়ে পরিভ্রমণ করলে, তার অভিকেন্দ্র বল

$$= m \times a_n = \frac{m \cdot v^2}{r} = \frac{m \cdot \omega^2 r^2}{r} = \frac{m(2\pi n)^2 r^2}{r} = 4\pi^2 \cdot n^2 \cdot m \cdot r.$$

মনে রাখতে হবে ‘অভিকেন্দ্র বল’ কেন্দ্রাভিমুখী বলের একটি নামান্তর। এটা কোনো পৃথক ধরনের বল নয় যেমন ‘উর্ধ্বমুখী বল’ বা ‘নিম্নমুখী বল’ কোনো পৃথক ধরনের বল নয়।

অবস্থার উপর নির্ভর করে বিভিন্ন উৎস যেমন, যান্ত্রিক বল, মহাকর্ষজনিত বল, চৌম্বক বা বৈদ্যুতিক বল অভিকেন্দ্র বলরূপে ক্রিয়া করতে পারে। যেমন, একটি ঢিলকে সুতো দিয়ে বেঁধে আজুলের সাহায্যে ঘোরালে যে অভিকেন্দ্র বল ক্রিয়া করবে তা যান্ত্রিক বল, গ্রহগুলি সূর্যের চারদিকে পরিভ্রমণকালে যে অভিকেন্দ্র বল পায় তা মহাকর্ষজনিত বল, পরমাণুর ইলেকট্রনগুলি নিউক্লিয়াসের (nucleus)-এর চতুর্দিকে আবর্তন করার জন্য প্রয়োজনীয় অভিকেন্দ্র বল সংগ্রহ করে ইলেকট্রন ও নিউক্লিয়াসের পারস্পরিক বৈদ্যুতিক আকর্ষণ বল থেকে।

● অপকেন্দ্র প্রতিক্রিয়া (Centrifugal reaction):

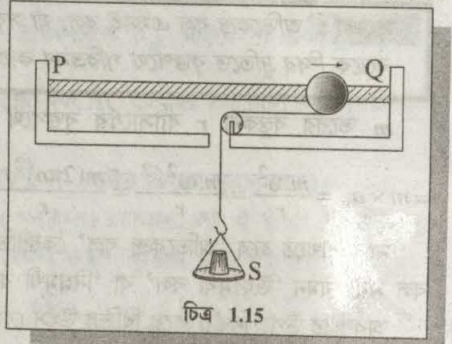
নিউটনের তৃতীয় গতিসূত্র হতে আমরা জানি যে, প্রত্যেক ক্রিয়ারই একটি সমান ও বিপরীত প্রতিক্রিয়া থাকে। কাজেই, অভিকেন্দ্র বলেরও প্রতিক্রিয়া থাকবে যা অভিকেন্দ্র বলের বিপরীতমুখী কিন্তু সমান; এই প্রতিক্রিয়াকে বলা হয় **অপকেন্দ্র প্রতিক্রিয়া** (centrifugal reaction)। যেমন, সুতোয় বাঁধা ঢিলকে আজুল দিয়ে ঘোরালে আজুল কেন্দ্র-বহির্মুখী একটি টান অনুভব করে। এটাই অপকেন্দ্র প্রতিক্রিয়া। একথা স্মরণ রাখা প্রয়োজন যে **অপকেন্দ্র** প্রতিক্রিয়া ঢিলের উপর ক্রিয়া করে না। ঢিলের উপর একটি বল-ই ক্রিয়া করে এবং তা অভিকেন্দ্র বল। ঘোরাতে ঘোরাতে যদি কখনো সুতো ছিঁড়ে যায় বা হঠাৎ সুতো ছেড়ে দেওয়া যায়, তাহলে ঢিলটি ব্যাসার্ধ বরাবর কেন্দ্র হতে দূরে ছুটে যায় না—ঐ মুহূর্তে বৃত্তের স্পর্শক বরাবর সরলরেখায় ছুটে যায়। কারণ সুতো ছিঁড়ে গেলে ঢিলের উপর অভিকেন্দ্র বল ক্রিয়া করে না এবং অপকেন্দ্র প্রতিক্রিয়াও থাকে না। তখন, প্রতি মুহূর্তে বৃত্তের স্পর্শক বরাবর সরলরেখায় গতি বজায় রাখার প্রবণতার দ্বারা ঢিলটি ঐ মুহূর্তে বৃত্তের উপর অঙ্গিত স্পর্শক বরাবর ছুটে যায়। পৃথিবী চন্দ্রের উপর যে মহাকর্ষীয় আকর্ষণ প্রয়োগ করে, তা চন্দ্রের অভিকেন্দ্র বল হিসাবে কার্য করে চন্দ্রকে পৃথিবীর চতুর্দিকে পরিভ্রমণ করায়। চন্দ্রও পৃথিবীর উপর একই মানের বলপ্রয়োগ করে তবে ঐ বল অভিকেন্দ্র বলের বিপরীত দিকে ক্রিয়া করে। এটা অপকেন্দ্র প্রতিক্রিয়া। চন্দ্রের ঐ অপকেন্দ্র প্রতিক্রিয়ার জন্য সমুদ্র-জলে জোয়ারভাটার সৃষ্টি হয়।

1.16 ➤ অপকেন্দ্র বল (Centrifugal force):

অনেক সময় উপরিউক্ত অপকেন্দ্র প্রতিক্রিয়াকে আলগাভাবে (loosely) অপকেন্দ্র বল বলে উল্লেখ করা হয়। প্রকৃতপক্ষে অপকেন্দ্র বলের উদ্ভব হয় ঘূর্ণায়মান বস্তুর জড়তার জন্য। এই বল কেন্দ্র বহির্মুখী হয়ে ঘূর্ণায়মান বস্তুর উপরই ক্রিয়া করে। অপকেন্দ্র প্রতিক্রিয়া ঘূর্ণায়মান বস্তুর উপর ক্রিয়া করে না।

নিউটনের প্রথম গতিসূত্র হতে আমরা জানি, বাইরে থেকে বলপ্রয়োগ না করলে গতিশীল বস্তু সরলরেখা বরাবর চলার চেষ্টা করে। এটি বস্তুর অভিমুখী জড়তা (directional inertia) বল। অভিমুখী-জড়তাজনিত বলই অপকেন্দ্র বল। আবর্তগতির বেলায় বস্তুর অভিমুখী জড়তাজনিত বলকে প্রতিরোধ করতে অভিকেন্দ্র বল প্রয়োগ করতে হয়। অপকেন্দ্র বল এবং অভিকেন্দ্র বল সর্বদা এক গতীয় সাম্যে (dynamical equilibrium) অবস্থান করে। সেই কারণে অভিকেন্দ্র বল এবং অপকেন্দ্র বল পরস্পরের সমান কিন্তু বিপরীতমুখী।

1.15 নং চিত্রে প্রদর্শিত ব্যবস্থার দ্বারা অপকেন্দ্র বল পরিমাপ করা যায়। এই ব্যবস্থায় একটি গোলক অনুভূমিক দণ্ড PQ বরাবর চলাচল করতে পারে। গোলকটির সাথে সুতো লাগানো আছে। সুতোটি একটি কপিকলের উপর দিয়ে গিয়ে একটি অক্ষের ছিদ্রের ভিতর প্রবেশ করেছে এবং তুলাপাত্রকে (S) ঝুলিয়ে রেখেছে। অক্ষকে কোনো ঘূর্ণায়মান টেবিলে (whirling table) সাথে যুক্ত করে ঘোরালে, অপকেন্দ্র বলের প্রভাবে গোলকটি দণ্ডের প্রান্তের দিকে সরে যেতে চেষ্টা করবে। তুলাপাত্রে উপযুক্ত পরিমাণ বাটখারা রেখে যদি গোলকটিকে স্থির রাখা যায়, তবে ঐ ওজন হতে অপকেন্দ্র বলের পরিমাপ করা যায়। টেবিলকে যত দ্রুত ঘোরানো যাবে গোলকটিকে স্থির রাখতে গেলে তুলাপাত্রে তত বেশি পরিমাণ বাটখারা রাখতে হবে।



চিত্র 1.15

● অপকেন্দ্র বল অলীক বল (Centrifugal force is a pseudo-force):

অনেক সময় অপকেন্দ্র বলকে ‘অলীক বল’ (pseudo-force) বলা হয়। কারণ ঘূর্ণন্ত নির্দেশতন্ত্রের বাইরে এর কোনো অস্তিত্ব নেই। এই বল কে প্রয়োগ করছে তা জানার উপায় নেই। সকল বাস্তব বলের ক্ষেত্রেই প্রয়োগ কর্তাকে চিহ্নিত করা যায়। বাস্তব বল সর্বদা দুটি বস্তুর পারস্পারিক ক্রিয়া-প্রতিক্রিয়ার ফলে উদ্ভব হয়। অভিকেন্দ্র বল বাস্তব বল কারণ এই বলের উদ্ভব হয় দুটি বস্তুর ক্রিয়া-প্রতিক্রিয়া জন্য। কিন্তু অপকেন্দ্র বলের উদ্ভবের পিছনে এরকম কোন ক্রিয়া-প্রতিক্রিয়া থাকে না। তাই একে ‘অলীক বল’ আখ্যা দেওয়া হয়।

মনে রাখতে হবে অপকেন্দ্র বল অথবা যে-কোনো অলীক বলের উৎস হল অজড়তীয় অথবা ত্বরিত গতিযুক্ত (accelerated) নির্দেশতন্ত্র। স্থির নির্দেশতন্ত্রে এর কোনো অস্তিত্ব নেই।

দর্শক নিজে স্থির থেকে যখন কোনো বস্তুকে বৃত্তপথে ঘুরতে দেখে তখন সে কেবল অভিকেন্দ্র বলের অস্তিত্ব টের পায়। ঘূর্ণন্ত কণার সমান কৌণিক বেগে ঘুরছে এমন এক নির্দেশতন্ত্র হতে দেখলে সে বস্তুটিকে সাম্যাবস্থায় দেখবে। এর ব্যাখ্যাস্বরূপ সে বলবে বাস্তব অভিকেন্দ্র বলকে নিষ্ক্রিয় করে বস্তুকে সাম্যাবস্থায় রাখতে নিশ্চয়ই সমান ও বিপরীত কোনো বল বস্তুর উপর ক্রিয়া করেছে। এটাই অপকেন্দ্র বল। এই বল আপাতগ্রাহ্য বলে একে অলীক বল আখ্যা দেওয়া হয়। আমরা ইতিপূর্বেই একটি অলীক বলের সন্ধান পেয়েছি। প্রথম খণ্ডের 136 পৃষ্ঠার 5 নং বিষয়বস্তুতে দেখেছি যে উৎক্ষিপ্ত বস্তুটি বায়ুতে থাকাকালীন যদি ট্রেন দ্বরণ পায় তবে বস্তুটি ব্যক্তির হাতে না পড়ে পিছনে পড়ে। দ্বরণশীল যাত্রীর মনে হবে সোজা উৎক্ষিপ্ত

বল নিশ্চয়ই কোনো অলীক বলের প্রভাবে তার হাতে না পড়ে পিছনে পড়ল। তার নির্দেশতন্ত্র ত্বরণশীল অর্থাৎ অজড়ত্বীয় বলে এরকম মনে হল। ঘূর্ণনশীল পর্যবেক্ষকের নির্দেশতন্ত্রও ত্বরণশীল অথবা অজড়ত্বীয়; ফলে এক্ষেত্রেও এক অলীক অপকেন্দ্র বলের উদ্ভব হল।

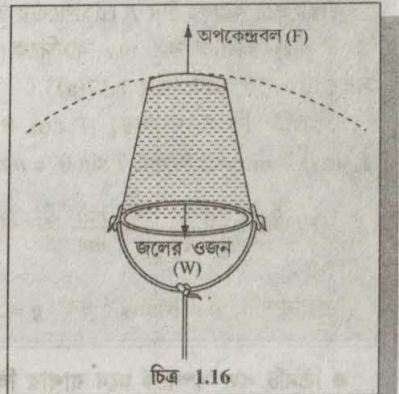
যাত্রীপূর্ণ গাড়ি চলতে চলতে যদি হঠাৎ মোড় ঘোরে তবে যাত্রীরা বিপরীত দিকে একটা টান অনুভব করে। গাড়ি হল ঘূরন্ত নির্দেশতন্ত্র এবং ঐ নির্দেশতন্ত্রে থেকে যাত্রীরা যে বল অনুভব করল তা অলীক বল এবং অপকেন্দ্র বল। গাড়ির পাশে অবস্থিত রাস্তা স্থির নির্দেশতন্ত্র। রাস্তায় দাঁড়ানো দর্শকের পক্ষে তা ব্যাখ্যা করার জন্য অলীক বলের প্রয়োজন হবে না; সে বলবে এটা জাড়ের দরুন হয়েছে।

প্রকৃতপক্ষে যখনই কোনো বস্তুকে বৃত্তপথে ঘোরাবার চেষ্টা করা হয় অথচ প্রয়োজনীয় অভিকেন্দ্র বল সরবরাহ করা হয় না, তখনই ঐ বস্তুর উপর অপকেন্দ্র বলের ক্রিয়া বোঝা যায় এবং বস্তুটি ব্যাসার্ধ বরাবর কেন্দ্র-বহির্মুখী সরে যেতে চায়।

সংজ্ঞা : সমবৃত্তীয় গতিবিশিষ্ট বস্তুকণার সাথে একই কৌণিক বেগে ঘূর্ণায়মান পর্যবেক্ষক বস্তুকণার উপর যে-অলীক বল কেন্দ্র বহির্মুখী ব্যাসার্ধ বরাবর ক্রিয়াশীল বলে মনে করে, তাকেই অপকেন্দ্র বল বলা হয়।

[একথা মনে রাখা দরকার যে নিউটনের দ্বিতীয় সূত্র $F = ma$ প্রযোজ্য হয় কেবলমাত্র সেই নির্দেশতন্ত্রে যেটি স্থির অথবা, সুস্থম গতিবেগে গতিশীল। ঘূরন্ত নির্দেশতন্ত্রে দ্বিতীয় সূত্র উক্ত আকারে (অর্থাৎ $F = ma$ আকারে) প্রযোজ্য হবে না। ঘূরন্ত নির্দেশতন্ত্রে গতিসূত্রকে নিউটনীয় আকারে লিখতে গেলে প্রযুক্ত বলের সঙ্গে অন্য কিছু বল যেমন, অপকেন্দ্র বল, কোরিওলি বল (Coriolis's force) প্রভৃতি যোগ করতে হবে। এই অতিরিক্ত বলগুলি সবই অলীক বল কারণ এরা বস্তুসমূহের পারস্পরিক ক্রিয়া প্রতিক্রিয়ার জন্য সৃষ্টি হয় না।]

উদাহরণ : জলভর্তি বালতির অভিলম্ব তলে আবর্তন : তোঁমরা হয়তো লক্ষ করেছ যে জলভর্তি একটি বালতিকে অভিলম্বতলে জোরে ঘোরাতে, বালতিটি যখন সর্বোচ্চ বিন্দুতে উপড় হয় তখনও বালতি থেকে জল পড়ে যায় না—জল বালতির গায়ে আটকে থাকে [চিত্র 1.16]। এক্ষেত্রে অভিকেন্দ্র বল জলের উপর প্রযুক্ত হয় না—বালতির উপর প্রযুক্ত হয়; অথচ বালতির সঙ্গে জলের ঘূর্ণন হয়। জলের ঘূর্ণনের জন্য কোনো অভিকেন্দ্র বল সরবরাহ করা হল না বলে জলের উপর অপকেন্দ্র বল ক্রিয়া করে এবং সর্বোচ্চ বিন্দুতে বালতি উপড় হলেও অপকেন্দ্র বল (F) উর্ধ্বমুখী ক্রিয়া করে নিম্নমুখী জলের ওজনকে কাটিয়ে দেয় ($F > mg$)। তাই, বালতি থেকে জল পড়ে যায় না। বালতি আস্তে আস্তে ঘোরাতে, অপকেন্দ্র বল কম হয়।



অপকেন্দ্র বল জলের ওজন অপেক্ষা কম হলে ($F < mg$) বালতি থেকে জল পড়ে যায়। বালতিতে জল আটকে রাখতে হলে, বালতি জোরে ঘোরাতে হয়।

অপকেন্দ্র বল বহির্মুখী ক্রিয়া করার ফলে, যে সকল ঘূর্ণায়মান যন্ত্রপাতির অংশ ঐ যন্ত্রের বহিরাংশকে ঘূর্ণাক্ষের সাথে যুক্ত রাখে, তারা সর্বদা একটি টান (tension) অনুভব করে। অভিকেন্দ্র বল যথেষ্ট বৃদ্ধি পেলে, ঐ টানের ফলে অংশগুলি ভেঙে পড়তে পারে। তাই ঘূর্ণায়মান যন্ত্রে কৌণিক বেগের একটি সর্বোচ্চ সীমা বেঁধে দেওয়া হয়। ডায়নামো বা মোটর প্রভৃতির আর্মেচার, ফ্লাইহুইল এবং এই ধরনের অন্যান্য যন্ত্রপাতি—যেগুলি দ্রুতগতিতে আবর্তন করে, তাদের নির্মাণের সময় এই বিষয়টির প্রতি লক্ষ রাখা হয়।

● অভিকেন্দ্র ও অপকেন্দ্র বলের পার্থক্য (Difference between centripetal and centrifugal forces) :

অভিকেন্দ্র বল	অপকেন্দ্র বল
1. বস্তুর পারস্পরিক ক্রিয়াজনিত বল; এটি একটি বাস্তব (real) বল।	1. নির্দেশতন্ত্রের ত্বরণের জন্য উদ্ভূত বল। এটি একটি অলীক (pseudo) বল।
2. এর অস্তিত্ব কেবল স্থির নির্দেশতন্ত্রে অথবা সমগতিযুক্ত ত্বরণহীন নির্দেশতন্ত্রে; ত্বরণযুক্ত নির্দেশতন্ত্রে এর কোনো অস্তিত্ব নেই।	2. এর অস্তিত্ব কেবল ত্বরণযুক্ত নির্দেশতন্ত্রে; স্থির অথবা ত্বরণহীন নির্দেশতন্ত্রে এর কোনো অস্তিত্ব নেই।
3. বৃত্তগতির ক্ষেত্রে অভিকেন্দ্র বল সর্বদা কেন্দ্রাভিমুখী।	3. বৃত্তগতির ক্ষেত্রে অপকেন্দ্র বল সর্বদা কেন্দ্র হতে বহির্মুখী।

□ EXAMPLE □

একটি গাড়ির ছাদ থেকে একটি সরল দোলক ঝোলানো আছে। গাড়িটি 10 ms^{-2} ত্বরণে সরলরেখায় চললে দোলকটি উল্লম্ব রেখার সঙ্গে কত কোণে আনত থাকবে? $g = 10 \text{ ms}^{-2}$.

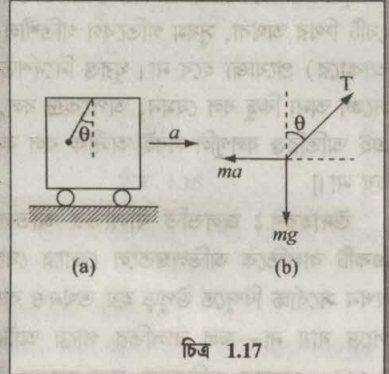
উঃ 1.17 নং চিত্র দেখ। ধর দোলকটি উল্লম্ব রেখার সঙ্গে θ কোণে আনত আছে। ত্বরণযুক্ত গতিশীল গাড়িকে নির্দেশতন্ত্র ধরে নিলে, বর্তমান নির্দেশতন্ত্রটি অজড়ত্বীয়। ফলে নিউটনের গতিসূত্র প্রয়োগ করতে গেলে, একটি অলীক বলের অস্তিত্ব ধরে নিতে হবে। দোলকের পিণ্ডের উপর নিম্নলিখিত বলগুলি ক্রিয়া করে।

(i) সুতো বরাবর টান T , (ii) পিণ্ডের ভার mg নিম্নমুখী এবং (iii) অলীক বল ma বামদিকে। a হল গাড়ির সম্মুখের দিকে ত্বরণ (চিত্র 1.17(a))।

পিণ্ডটি স্থির থাকায়, $T \cos \theta = mg$ এবং $T \sin \theta - ma = 0$ অথবা $T \sin \theta = ma$.

ভাগ দিলে, $\frac{T \sin \theta}{T \cos \theta} = \frac{ma}{mg}$ অথবা $\tan \theta = \frac{a}{g}$.

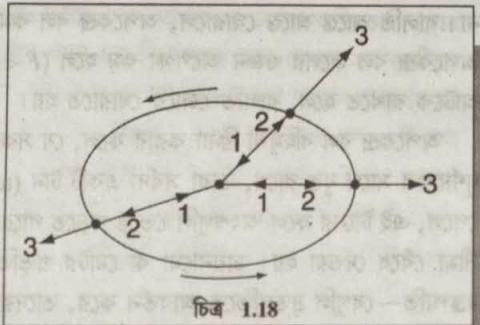
প্রমানুযায়ী, $a = 10 \text{ ms}^{-2}$ এবং $g = 10 \text{ ms}^{-2}$. অতএব $\tan \theta = \frac{10}{10} = 1$ অথবা, $\theta = 45^\circ$ ।



চিত্র 1.17

● তিনটি বল সম্পর্কে মনে রাখার বিষয় :

(i) অভিকেন্দ্র বল, অপকেন্দ্র প্রতিক্রিয়া এবং অপকেন্দ্র বল— এই তিনটি বলের মান সমান অর্থাৎ $m\omega^2 r$ । 1.18 নং চিত্রে 1- অভিকেন্দ্র বল, 2- অপকেন্দ্র প্রতিক্রিয়া এবং 3- অপকেন্দ্র বল। মনে রাখতে হবে, সমান ও বিপরীতমুখী হলেও, অভিকেন্দ্র বল (1) এবং অপকেন্দ্র বল (3) ক্রিয়া-প্রতিক্রিয়া বল নয় কারণ তারা একই বস্তুর উপর



চিত্র 1.18

ক্রিয়া করে। ক্রিয়া-প্রতিক্রিয়া সর্বদা দুটি ভিন্ন বস্তুর উপর ক্রিয়া করে।

(ii) অভিকেন্দ্র বল ঘুরন্ত বস্তুর উপর ব্যাসার্ধ বরাবর কেন্দ্রের দিকে ক্রিয়া করে। বাইরের কোনো সংস্থা (agent) বস্তুর উপর এই বল প্রয়োগ করে। কাজেই এটি একটি বাস্তব বল।

(iii) অপকেন্দ্র প্রতিক্রিয়া বহিস্থ সংস্থার উপর ব্যাসার্ধ বরাবর কেন্দ্র বহির্মুখী ক্রিয়া করে। এই বল অভিকেন্দ্র বলের প্রতিক্রিয়া স্বরূপ ঘুরন্ত বস্তু কর্তৃক প্রযোজ্য হয়। কাজেই এটিও একটি বাস্তব বল।

(iv) অপকেন্দ্র বল ঘুরন্ত বস্তুর উপর ব্যাসার্ধ বরাবর কেন্দ্রবহির্মুখী ক্রিয়া করে। একমাত্র ঘুরন্ত নির্দেশতন্ত্রে এই বলের অস্তিত্ব আছে এবং এর প্রয়োগকর্তাকে চিহ্নিত করা যায় না। তাই এই বল অলীক বল।

□ EXAMPLES □

1. একটি 0.1 kg ভরসম্পন্ন পাথরখণ্ডকে 0.8 m দীর্ঘ সুতোর সাহায্যে বৃত্তাকার পথে ঘোরানো হচ্ছে। পাথরখণ্ডটি প্রতি সেকেন্ডে 2 বার বৃত্তপথ পূর্ণ প্রদক্ষিণ করলে, সুতোর টান কত?

$$\text{উঃ। টান} = \text{অভিকেন্দ্র বল} = \frac{mv^2}{r} \quad | \quad m = 0.1 \text{ kg}; r = 0.8 \text{ m.}; v = \frac{2\pi r}{t} = \frac{2 \times 3.14 \times 0.8}{\frac{1}{2}}$$

$$\therefore \text{টান} = \frac{0.1}{0.8} \times \left(\frac{2 \times 3.14 \times 0.8}{\frac{1}{2}} \right)^2 = 12.63 \text{ N.}$$

2. 100 g ভরের একটি ঢিলকে 50 cm দীর্ঘ একটি সুতোয় বেঁধে অনুভূমিক বৃত্তাকার পথে ঘোরানো হচ্ছে। সুতো সর্বোচ্চ 288 dyne টান সহ্য করতে সক্ষম। সুতো না ছিঁড়ে ঢিলকে সর্বাধিক কত বেগে ঘোরানো যেতে পারে এবং প্রতি মিনিটে সর্বাধিক কতবার পূর্ণ আবর্তন করানো যেতে পারে নির্ণয় করো।

উঃ। ধরো, ঢিলের সর্বাধিক বেগ $v \text{ cms}^{-1}$.

$$\text{ঢিলটির অভিকেন্দ্র বল} = \frac{mv^2}{r} = \frac{100 \times v^2}{50} = 2 \times v^2 \text{ dyne.}$$

$$\text{সর্বোচ্চ টান} = 288 \text{ dyne.} \therefore 2v^2 = 288 \text{ বা, } v = 12 \text{ cms}^{-1}.$$

$$\text{আবার, একবার পূর্ণ আবর্তনে ঢিলটি যে-দূরত্ব যায় তা} = 2\pi r = 2 \times 3.14 \times 50 = 314 \text{ cm.}$$

$$\text{ঢিলটির সর্বাধিক বেগ} = 12 \text{ cms}^{-1} = 12 \times 60 \text{ cm min}^{-1}.$$

$$\text{অতএব, প্রতি মিনিটে ঢিলটির সর্বাধিক আবর্তন সংখ্যা} = \frac{v}{2\pi r} = \frac{12 \times 60}{314} = 2.3;$$

$$\text{প্রতি মিনিটে ঢিলটির আবর্তন সংখ্যা} = 2.$$

3. জলপূর্ণ একটি বালতির সঙ্গে দড়ি বেঁধে বালতিকে 1 m ব্যাসার্ধের উল্লম্ব বৃত্তপথে (vertical circle) ঘোরানো হচ্ছে। বৃত্তের সর্বোচ্চ বিন্দুতে বালতির সর্বনিম্ন দ্রুতি কত হলে, বালতি থেকে জল পড়বে না? $g = 9.8 \text{ ms}^{-2}$.

উঃ। সর্বোচ্চ বিন্দুতে বালতির জলের উপর অপকেন্দ্র বল জলের ওজনের সমান হলে জল পড়বে না। ধর, বালতির সর্বনিম্ন বেগ v ; জলের উপর অপকেন্দ্র বল $\frac{mv^2}{r} = \frac{mv^2}{1} \text{ N}$ [m = জলের ভর]

$$\therefore mv^2 = mg \text{ অথবা } v^2 = 9.8 \text{ অথবা } v = \sqrt{9.8} = 3.13 \text{ ms}^{-1}.$$

❶ 2 m ব্যাসার্ধের একটি ফাঁপা চোঙ নিজ অক্ষের চতুর্দিকে উল্লম্ব তলে আবর্তন করছে। চোঙের দুই মুখই খোলা। চোঙের গায়ে এক টুকরো পাথর আটকে আছে। চোঙের আবর্ত গতিবেগ কমপক্ষে কত হলে পাথর টুকরোটি চোঙের গায়ে আটকে থাকবে; নীচে পড়ে যাবে না? চোঙের দেওয়াল এবং পাথরের ভিতর স্থিতিঘর্ষণ গুণাঙ্ক $= 0.4$; $g = 9.8 \text{ ms}^{-2}$; চোঙ সম্পূর্ণ মসৃণ হলে কি হত?

উঃ। 1.19 নং চিত্রে পাথর টুকরোর (A) উপর ক্রিয়াশীল বলগুলি দেখানো হয়েছে। W = পাথর টুকরোর ওজন; F = পাথর এবং চোঙের দেওয়ালের ভিতর ঘর্ষণবল; R = দেওয়াল কর্তৃক প্রদত্ত অভিকেন্দ্র বল অথবা অভিলম্ব প্রতিক্রিয়া (normal reaction)। ধরো, চোঙের ব্যাসার্ধ $= r$ এবং সর্বনিম্ন গতিবেগ $= v$

যেহেতু পাথরখণ্ডটি নীচে পড়ছে না, সেহেতু $W = F = \mu_s R$ [μ_s = স্থিতিঘর্ষণ গুণাঙ্ক]

এখন, অভিকেন্দ্র বল $R = \frac{mv^2}{r}$ [m = পাথর টুকরোর ভর]

$$\therefore W = \mu_s R = \mu_s \cdot \frac{mv^2}{r}$$

$$\text{অথবা, } mg = \mu_s m \frac{v^2}{r} \quad \therefore v = \sqrt{\frac{gr}{\mu_s}}$$

এক্ষেত্রে, $r = 2 \text{ m}$; $g = 9.8 \text{ ms}^{-2}$ এবং $\mu_s = 0.4$;

$$\text{অতএব } v = \sqrt{\frac{9.8 \times 2}{0.4}} = 7 \text{ ms}^{-1}.$$

$\mu_s = 0$ হলে অর্থাৎ, চোঙ সম্পূর্ণ মসৃণ হলে $v = \infty$; চোঙ মসৃণ হলে, পাথর টুকরোকে কোনোভাবেই আটকে রাখা যাবে না, কারণ চোঙের আবর্তন বেগ অসীম হওয়া সম্ভব নয়।

[N.B. লক্ষ্য করার বিষয় যে পাথর টুকরোর ওজন ফলাফলকে প্রভাবিত করে না।]

❷ রাস্তার একটি ওভারব্রিজ আর্চের ন্যায় উল্লম্বতলে বাঁকানো এবং তার ব্যাসার্ধ r metre; সর্বোচ্চ কত বেগে একটি মোটর গাড়ি ঐ ব্রিজের উপর দিয়ে যেতে পারবে যাতে ব্রিজের শীর্ষবিন্দুতেও গাড়ি মাটি ছেড়ে লাফিয়ে উঠবে না? বাঁকানো ব্রিজের ব্যাসার্ধ 5.4 m হলে, গাড়ির সর্বোচ্চ গতিবেগ কত হবে? $g = 9.8 \text{ ms}^{-2}$

উঃ। ব্রিজের শীর্ষবিন্দুতে গাড়ির ওজন mg বক্রতলের কেন্দ্রাভিমুখী এবং অভিকেন্দ্র প্রতিক্রিয়া $= \frac{mv^2}{r}$ কেন্দ্রবহির্মুখী ক্রিয়া করবে [চিত্র 1.20]। স্পষ্টত বতক্ষণ

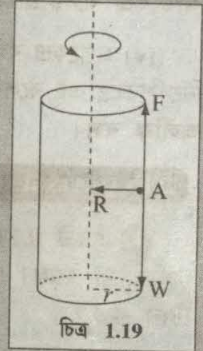
$$\frac{mv^2}{r} \leq mg \quad \text{অথবা, } \frac{v^2}{r} \leq g \quad \text{ততক্ষণ গাড়ি মাটি ছেড়ে}$$

লাফাবে না। সুতরাং প্রয়োজনীয় শর্ত হল $\frac{v^2}{r} \leq g$

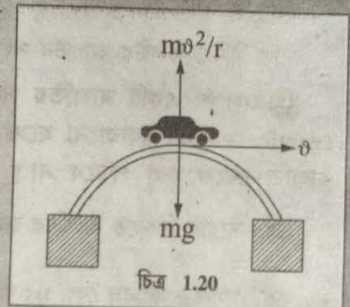
অথবা, $v^2 \leq gr$ অথবা, $v \leq \sqrt{gr}$; এক্ষেত্রে সর্বোচ্চ গতিবেগ

$$v_{\max} = \sqrt{gr}$$

এখন, $r = 5.4 \text{ m}$ হলে, $v_{\max} = \sqrt{9.8 \times 5.4} = 7.27 \text{ ms}^{-1}$.



চিত্র 1.19

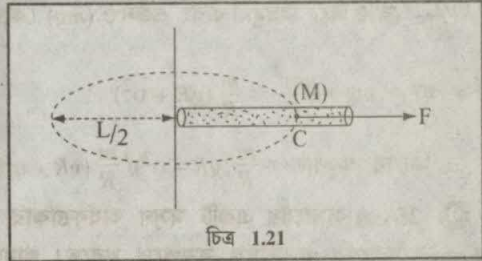


চিত্র 1.20

৬. M ভরের অসংনম্য (incompressible) তরল দ্বারা L দৈর্ঘ্যের একটি চোঙাকৃতি নলকে সম্পূর্ণ ভর্তি করে তার দুমুখ বন্ধ করা হল। নলটির একপ্রান্তকে কেন্দ্র করে তরলসহ নলকে অনুভূমিক তলে ω কৌণিক বেগে ঘোরানো হলে অপর বন্ধ প্রান্তের উপর তরল কত বল প্রয়োগ করবে?

উঃ। তরলসহ নলকে ঘোরানো হলে আমরা মনে করতে পারি যে নলের ভরকেন্দ্র C -তে অবস্থিত M ভরের তরল একই কৌণিক বেগ (ω) সহ $L/2$ ব্যাসার্ধের বৃত্তপথে ঘুরছে [চিত্র 1.21]। সমস্ত ঘুরন্ত তরলের জন্য বহির্মুখী অপকেন্দ্র বল (F) হবে $M (L/2) \omega^2$

$$= \frac{1}{2} M \omega^2 L; \text{যেহেতু নলের তরল অসংনম্য,}$$



চিত্র 1.21

তাই নলের অপর বন্ধপ্রান্তে তরল যে বল প্রয়োগ করবে তা $F = \frac{1}{2} M \omega^2 L$.

৭. 1 metre দৈর্ঘ্যের একটি স্প্রিংয়ের একপ্রান্ত দৃঢ়ভাবে আবদ্ধ এবং অপর প্রান্তে 1 kg ভরের একটি বস্তু আবদ্ধ। বস্তুটি মসৃণ অনুভূমিক টেবিলের উপর অবস্থিত। স্প্রিং অনুভূমিক অবস্থায় আছে। বস্তুটি যদি 2.5 rads^{-1} কৌণিক বেগে ঘোরে, তাহলে, স্প্রিংয়ের দৈর্ঘ্য বৃদ্ধি কত হবে? স্প্রিংয়ের বলধ্রুবক 100 Nm^{-1} .

উঃ। বৃত্তপথের কেন্দ্রের দিকে বস্তুটির অভিকেন্দ্র বল $= \frac{mv^2}{r}$ । যদি স্প্রিংয়ের দৈর্ঘ্য l হয়, তাহলে স্প্রিং কর্তৃক বস্তুর উপর প্রযুক্ত বল $= kl$ ।

$$\therefore kl = \frac{mv^2}{r} = m\omega^2 \cdot r = m\omega^2 (l_0 + l) = m\omega^2 l_0 + m\omega^2 l.$$

এখানে ω = বস্তুর কৌণিক গতিবেগ, l_0 = স্প্রিংয়ের স্বাভাবিক দৈর্ঘ্য এবং $(l_0 + l)$ স্প্রিংয়ের প্রসারিত দৈর্ঘ্য যেটি আবার বস্তুর বর্তমান বৃত্তপথের ব্যাসার্ধ।

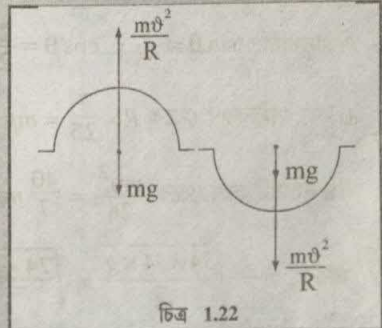
$$\text{অতএব, } (k - m\omega^2)l = m\omega^2 \cdot l_0 \therefore l = \frac{m\omega^2 l_0}{k - m\omega^2}$$

$$\text{এক্ষেত্রে, } m = 1 \text{ kg}; \omega = 2.5 \text{ rads}^{-1}; l_0 = 1 \text{ m}; k = 100 \text{ Nm}^{-1}$$

$$\therefore l = \frac{1 \times (2.5)^2 \times 1}{100 - (2.5)^2} = 0.067 \text{ m} = 6.7 \text{ cm}.$$

৮. একটি ট্রাক v সুষম বেগে R ব্যাসার্ধবিশিষ্ট একটি উত্তল আকারের সেতু এবং একই ব্যাসার্ধের অপর একটি অবতল সেতুর উপর দিয়ে যায়। দেখাও যে ট্রাকটি উত্তল সেতুর উচ্চতম বিন্দু এবং অবতল সেতুর নিম্নতম বিন্দুতে যে বল প্রয়োগ করে, তাদের অনুপাত $(gR - v^2) : (gR + v^2)$ যেখানে g = অভিকর্ষজ ত্বরণ।

উঃ। 1.22 নং চিত্র দেখো। উত্তল সেতুর উচ্চতম বিন্দুতে ট্রাকের অপকেন্দ্র প্রতিক্রিয়া $= \frac{mv^2}{R}$ কেন্দ্র হতে বহির্মুখী এবং ওজন mg কেন্দ্র হতে নিম্নমুখী। এই দুই বল



চিত্র 1.22

বিপরীতমুখী হওয়ায় সেতুর উচ্চতম বিন্দুতে লব্ধ বল $= mg - \frac{mv^2}{R} = \frac{m}{R} (gR - v^2)$ ।

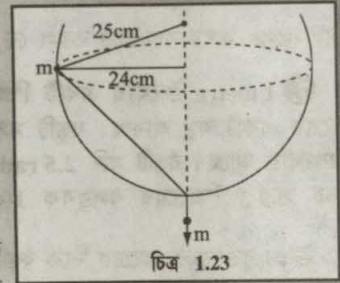
চিত্র (b)-তে অবতল সেতুর অবস্থা দেখানো হয়েছে। সেতুর নিম্নতম বিন্দুতে অপকেন্দ্র প্রতিক্রিয়া $= \frac{mv^2}{R}$ কেন্দ্র দিয়ে নিম্নমুখী এবং ওজনও (mg) কেন্দ্র দিয়ে নিম্নমুখী। এই দুই বল সমমুখী হওয়ায়

$$\text{লব্ধি বল} = mg + \frac{mv^2}{R} = \frac{m}{R} (gR + v^2)$$

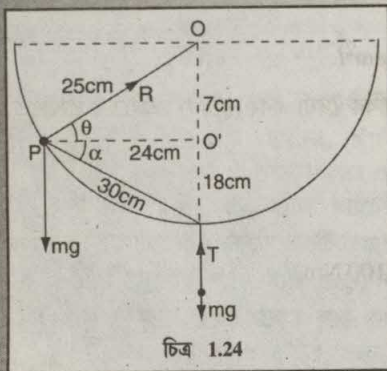
$$\therefore \text{নির্ণেয় অনুপাত} = \frac{m}{R} (gR - v^2) / \frac{m}{R} (gR + v^2) = (gR - v^2) : (gR + v^2)।$$

9. 25 cm ব্যাসার্ধের একটি মসৃণ অর্ধবৃত্তাকার গামলার ভিতর একটি m ভরের বস্তুকণা 24 cm ব্যাসার্ধের অনুভূমিক বৃত্তপথে ঘুরছে। গামলার উপরের মুখ অনুভূমিক। এক গাছা হালকা সুতো বস্তুটির সাথে আটকানো আছে। সুতোটি গামলার তলার একটি ছিদ্র দিয়ে বার হয়ে m ভরের অপর একটি বস্তুকে ঝুলিয়ে রেখেছে। ঝুলন্ত বস্তু স্থির অবস্থায় থাকলে ঘুরন্ত বস্তুর গতিবেগ নির্ণয় করো [চিত্র 1.23]।

উঃ। 1.24 নং চিত্র দেখ। O হল অর্ধবৃত্তাকার গামলার কেন্দ্রবিন্দু। বৃত্তের ব্যাসার্ধ $= PO = 25$ cm। P বিন্দুতে অবস্থিত m ভর যে বৃত্তপথে গামলার গা বরাবর ঘুরছে তার কেন্দ্রবিন্দু



চিত্র 1.23



চিত্র 1.24

হল O' ; m বস্তুর উপর গামলার প্রতিক্রিয়া বল (R) গামলার ব্যাসার্ধ PO বরাবর ক্রিয়া করছে। যেহেতু একই সুতো ঝুলন্ত ভর m -কে P বিন্দুর ভরের সঙ্গে আবদ্ধ রেখেছে তাই এ সুতোর সর্বত্র টান $= T$ ।

P বিন্দুস্থিত m ভরের সাম্যাবস্থা বিবেচনা করলে পাই, $R \sin \theta = mg + T \sin \alpha \dots (i)$

আবার, $(R \cos \theta + T \cos \alpha)$ বল PO বরাবর ক্রিয়া করে m ভরের আবর্তগতির জন্য প্রয়োজনীয় অভিকেন্দ্র বল সরবরাহ করবে। ঘুরন্ত ভরের গতিবেগ v হলে,

$$\frac{mv^2}{24} = R \cos \theta + T \cos \alpha \dots (ii)$$

ঝুলন্ত ভরের স্থিতিাবস্থা বিবেচনা করলে পাই, $T = mg \dots (iii)$

$$\text{চিত্রানুযায়ী, } \sin \theta = \frac{7}{25}; \cos \theta = \frac{24}{25}; \sin \alpha = \frac{18}{30} \text{ এবং } \cos \alpha = \frac{24}{30} = \frac{4}{5}$$

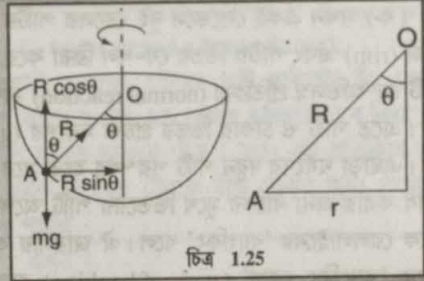
$$(i) \text{ নং সমীকরণ থেকে } R \times \frac{7}{25} = mg + mg \times \frac{3}{5} \text{ অথবা, } R = \frac{40}{7} \times mg$$

$$(ii) \text{ নং সমীকরণ থেকে } \frac{mv^2}{24} = \frac{40}{7} mg \times \frac{24}{30} + mg \times \frac{4}{5} = \frac{44}{7} mg \text{ অথবা } v^2 = \frac{24 \times 44 \times g}{7}$$

$$\text{অথবা, } v = \sqrt{\frac{24 \times 44 \times g}{7}} = \sqrt{\frac{24 \times 44 \times 980}{7}} = 384.5 \text{ cms}^{-1} = 3.85 \text{ ms}^{-1}।$$

10. 9.8 m ব্যাসার্ধের একটি অর্ধগোলাকৃতি পাত্র নিজ কেন্দ্রগামী অক্ষের চারিদিকে ω কৌণিক বেগে ঘুরছে। পাত্রটির মসৃণ অভ্যন্তরে 4g ভরের একটি কণা না হড়কে একই বেগে পাত্রের সঙ্গে ঘুরছে। কণার সঙ্গে যুক্ত পাত্রের ব্যাসার্ধ অক্ষের সঙ্গে 60° কোণ করলে পাত্রের কৌণিক গতিবেগ নির্ণয় করো।

উঃ 1.25 নং চিত্রে ব্যবস্থা দেখানো হয়েছে। m ভরের কণা পাত্রের অভ্যন্তরে A বিন্দুতে আছে। m ভরের উপর পাত্রের অভিলম্ব প্রতিক্রিয়া R ব্যাসার্ধ AO বরাবর ক্রিয়া করছে। R -এর উপাংশ $(R \sin \theta)$ ভরের ঘূর্ণনের জন্য প্রয়োজনীয় অভিকেন্দ্র বল সরবরাহ করে। অপর উপাংশ $R \cos \theta$ ভরের ওজনকে প্রতিমিত করে। অতএব, $R \sin \theta = m \cdot r \cdot \omega^2$ [r = কণার বৃত্তপথের ব্যাসার্ধ] এবং $R \cos \theta = mg$



চিত্র 1.25

$$\therefore \tan \theta = \frac{r \cdot \omega^2}{g} \text{ অথবা } \omega = \sqrt{\frac{g \tan \theta}{r}}$$

$$\text{আবার, } r = OA \cdot \sin \theta = R \sin \theta \mid \text{অতএব } \omega = \sqrt{\frac{g}{R \cos \theta}} = \sqrt{\frac{9.8}{9.8 \cos 60^\circ}} = \sqrt{2} \text{ rads}^{-1}.$$

11. l দৈর্ঘ্যের একটি সরু দণ্ডের একপ্রান্ত দৃঢ়ভাবে আবদ্ধ। দণ্ডটি স্থির কৌণিক বেগ ω নিয়ে অনুভূমিক তলে আবর্তন করতে পারে। দণ্ডের মুক্ত প্রান্ত থেকে l দৈর্ঘ্যের একটি সুতোর সাহায্যে m ভরের একটি বস্তু ঝুলানো আছে। সুতো উল্লম্বের সঙ্গে θ কোণ করলে দণ্ডের কৌণিক বেগ নির্ণয় করো।

উঃ 1.26 নং চিত্রে সমগ্র ব্যবস্থা দেখানো হয়েছে। দণ্ড A প্রান্তে আবদ্ধ এবং B প্রান্ত থেকে m ভর ঝোলানো।

ধর, দণ্ডের আবর্তনের কৌণিক বেগ ω । চিত্র থেকে বোঝা যায় m ভরটি $(l + l \sin \theta)$ ব্যাসার্ধের অনুভূমিক বৃত্তপথে ঘুরছে। ভরটির কেন্দ্রাভিমুখী ত্বরণ $= \omega^2 (l + l \sin \theta)$ । ভরটির উপর ক্রিয়ারত বল :

(i) সুতো বরাবর টান T এবং (ii) ভরের ওজন mg । টান T -কে ব্যাসার্ধ বরাবর এবং ব্যাসার্ধের অভিলম্ব বরাবর বিভাজন করলে পাই

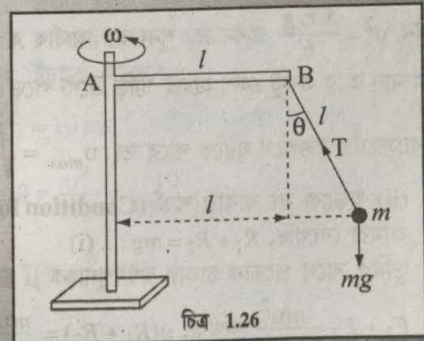
$$T \sin \theta = m \omega^2 (l + l \sin \theta)$$

$$\text{এবং } T \cos \theta = mg$$

ভাগ দিলে,

$$\tan \theta = \frac{m \omega^2 (l + l \sin \theta)}{mg} = \frac{\omega^2 l (1 + \sin \theta)}{g}$$

$$\therefore \omega = \sqrt{\frac{g \tan \theta}{l(1 + \sin \theta)}}$$



চিত্র 1.26

1.17.

অভিকেন্দ্র বলের কয়েকটি দৃষ্টান্ত

(Some illustrations of centripetal force) :

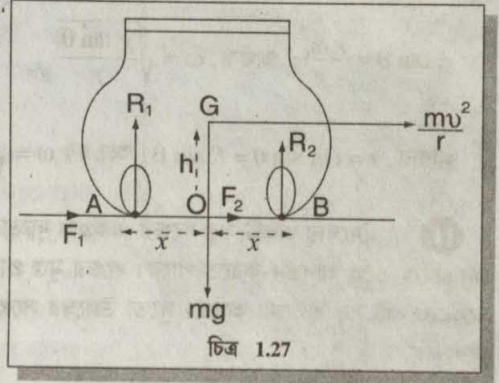
(ক) যখন একই লেভেলে দুই রেলের পাটির উপর দিয়ে ট্রেন বাঁক ঘুরতে চেষ্টা করে তখন ট্রেনের খাঁজ (rim) এবং পাটির ভিতর যে-বল ক্রিয়া করে তাই ট্রেনকে প্রয়োজনীয় অভিকেন্দ্র বল সরবরাহ করে। পাটি যে অভিলম্ব প্রতিক্রিয়া (normal reaction) সৃষ্টি করে তা সম্পূর্ণভাবে ট্রেনের ওজনকে কাটাতে ব্যয়িত হয়। এতে পাটি ও চাকার ভিতর প্রচণ্ড ঘর্ষণের (grinding) উৎপত্তি হয়ে উভয়েরই অনাবশ্যক ক্ষয়ক্ষতি হয়। এছাড়া ঘর্ষণের দরুন পাটি পরস্পর হতে সরে গিয়ে ট্রেন লাইনচ্যুত হতেও পারে। এই সকল দুর্ঘটনা রোধ করার জন্য বাঁকের মুখে ভিতরের পাটি অপেক্ষা বাইরের পাটিকে খানিকটা উঁচু লেভেলে রাখা হয়। একে রেললাইনের ‘ব্যাংকিং’ বলে। ঐ জায়গায় অনুভূমিক রেখার সাথে পাটিদ্বয় যে কোণ উৎপন্ন করে তাকে ‘ব্যাংকিং কোণ’ (angle of banking) বলে।

● অনুভূমিক বৃত্তপথে ট্রেনের গতি (Motion of a train round a horizontal circular track) :

(i) উল্টে না পড়ার শর্ত (Condition of no overturning) :

ধরো, একটি ট্রেন (বা মোটরগাড়ি) r ব্যাসার্ধের অনুভূমিক বৃত্তপথে v গতিবেগে যাচ্ছে। ট্রেনটি বাঁদিকে বাঁক নেবে। ট্রেনের A এবং B চাকায় অভিলম্ব প্রতিক্রিয়া R_1 এবং R_2 ; F_1 এবং F_2 হল ঐ দুই চাকায় ঘর্ষণবল [চিত্র 1.27]। অনুভূমিক বৃত্তপথে গতির ক্ষেত্রে ঘর্ষণবল গাড়ির প্রয়োজনীয় অভিকেন্দ্র বল সরবরাহ করে এবং অভিলম্ব প্রতিক্রিয়া ট্রেনের ওজনকে কাটিয়ে দেয়। অর্থাৎ,

$$F_1 + F_2 = \frac{mv^2}{r} \text{ এবং } R_1 + R_2 = mg.$$



মনে করো, G হল ট্রেনের ভারকেন্দ্র। ভারকেন্দ্র চাকা দুটির ঠিক মাঝখানে থাকবে। ভূমি হতে G বিন্দুর উচ্চতা h এবং চাকা দুটির পারস্পরিক দূরত্ব $= 2x$ । ট্রেনের উল্টে না পড়ার শর্ত হল : G বিন্দু সাপেক্ষে উক্ত বলগুলির ভ্রামকের সমষ্টি শূন্য হবে। G বিন্দুর সাপেক্ষে বলগুলির ভ্রামক নিলে,

$$(F_1 + F_2)h + R_1x - R_2x = 0$$

$$\text{উপরিউক্ত তিনটি সমীকরণ হতে পাই, } R_2 = \frac{1}{2}m\left(g + \frac{v^2h}{x.r}\right) \text{ এবং } R_1 = \frac{1}{2}m\left(g - \frac{v^2h}{x.r}\right)$$

R_2 পজিটিভ হওয়ায়, তা কখনও শূন্য হতে পারে না; কিন্তু গতিবেগ v বৃদ্ধি পেলে R_1 হ্রাস পায়।

যখন $v^2 = \frac{x.r.g}{h}$ তখন R_1 শূন্য হয় অর্থাৎ A চাকার সাথে ভূমির কোনো সংস্পর্শ থাকে না। v^2 -এর মান আর একটু বেশি হলেই গাড়ি উল্টে পড়ে। কাজেই, গাড়ি না উল্টে সর্বাপেক্ষা বেশি যে গতিবেগে

$$r \text{ ব্যাসার্ধের বৃত্তপথে ঘুরতে পারে তা } v_{\max} = \sqrt{\frac{x.r.g}{h}}.$$

(ii) হড়কে না যাবার শর্ত (Condition for no skidding)

আমরা দেখেছি, $R_1 + R_2 = mg$ (i)

ভূমির সাথে প্রত্যেক চাকার ঘর্ষণগুণাঙ্ক μ হলে, $F_1 = \mu R_1$ এবং $F_2 = \mu R_2$

$$F_1 + F_2 = \frac{mv^2}{r} \text{ অথবা, } \mu(R_1 + R_2) = \frac{mv^2}{r} \text{ (ii)}$$

(i) এবং (ii) সমীকরণ হতে পাই, $\mu mg = \frac{mv^2}{r}$ অথবা, $v^2 = \mu.r.g$

অতএব, না হড়কে যে সর্বোচ্চ গতিবেগে গাড়ি r ব্যাসার্ধের বৃত্তপথে ঘুরতে পারবে তা $v_{\max} = \sqrt{\mu rg}$.

● ব্যাংকিং যুক্ত বৃত্তপথে ট্রেনের গতি (Motion of a train round a banked track) :

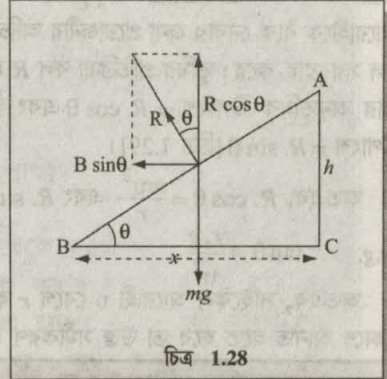
রেল লাইনে ব্যাংকিং থাকলে অথবা ভিতরের পাটি অপেক্ষা বাইরের পাটি খানিকটা উঁচু লেভেলে থাকলে, লাইনের প্রতিক্রিয়া বল R পাটদ্বয়ের সংযোগ রেখার অর্থাৎ AB রেখার অভিলম্বভাবে ক্রিয়া করবে এবং উল্লম্ব রেখার সাথে ব্যাংকিং কোণে বা θ কোণে আনত থাকবে [চিত্র 1.28]। এই প্রতিক্রিয়া বলকে অনুভূমিক এবং উল্লম্ব দিকে বিভাজন করলে, অনুভূমিক উপাংশ ট্রেনকে বাঁক নেবার জন্য প্রয়োজনীয় অভিকেন্দ্র বল যোগাবে। এতে চাকার খাঁজের সাথে পাটির অনাবশ্যিক ঘর্ষণ হবে না এবং ক্ষয়ক্ষতিও হবে না। এখন প্রতিক্রিয়া বলের উল্লম্ব উপাংশ $= R \cos \theta$ এবং অনুভূমিক উপাংশ $= R \sin \theta$ ।

প্রথমটি ট্রেনের ওজনকে নিষ্ক্রিয় করে এবং দ্বিতীয়টি ট্রেনকে অভিকেন্দ্র বল যোগায়। ট্রেনের দ্রুতি v এবং বাঁকের ব্যাসার্ধ r হলে $R \sin \theta = \frac{mv^2}{r}$ এবং $R \cos \theta = mg$;

ভাগ দিলে পাই, $\tan \theta = \frac{v^2}{r.g}$

আবার লাইনদ্বয়ের পারস্পরিক দূরত্ব x (অর্থাৎ $BC = x$)

এবং উচ্চতার প্রভেদ h হলে, $\tan \theta = \frac{h}{x}$



$$\therefore \frac{h}{x} = \frac{v^2}{r.g} \text{ বা, } h = \frac{v^2 \cdot x}{r.g}$$

এ থেকে বোঝা যায়, লাইনের ব্যাংকিং বা h -এর মান (i) ট্রেনের দ্রুতি (v) এবং (ii) বাঁকের ব্যাসার্ধের (r) উপর নির্ভর করে। সুতরাং রেললাইনের যথোপযুক্ত ব্যাংকিং একটি নির্দিষ্ট গতিবেগের দ্বারা নির্ধারিত হয়। গতিবেগ তার কম বা বেশি হলে, পার্শ্বচাপ পড়বে এবং চাকার ক্ষয়ক্ষতি হবে।

মোটরগাড়ির বাঁক নেবার সময়ও অনুরূপ ঘটনা ঘটে। রাস্তা সমতল হলে, বাঁকের মুখে টায়ার এবং রাস্তার ভিতর ঘর্ষণবল প্রয়োজনীয় অভিকেন্দ্র বল যোগায়। রাস্তা পিচ্ছিল হলে—অথবা যথেষ্ট ঘর্ষণ উৎপন্ন না হলে, দ্রুতবেগে বাঁক নেবার সময় গাড়ি কাত হয়ে পড়তে পারে। এইজন্য বাঁকের মুখেও রাস্তায় ব্যাংকিং ব্যবস্থা থাকে।

□ EXAMPLE □

একটি ট্রেন যখন 36 kmh^{-1} বেগে চলছে তখন রেল লাইনের বাঁকের মুখের বক্রতা-ব্যাসার্ধ 300 m ; পাটি দুটির পারস্পরিক দূরত্ব 90 cm হলে, যথোপযুক্ত ব্যাংকিং-এর জন্য ভিতরের পাটি অপেক্ষা বাইরের পাটি কতটা উঁচুতে থাকবে ?

উঃ। ট্রেনের দ্রুতি $v = 36 \text{ kmh}^{-1} = \frac{36 \times 1000}{60 \times 60} = 10 \text{ ms}^{-1}$. লাইনের বক্রতা-ব্যাসার্ধ $r = 300 \text{ m}$.

θ যদি উপযুক্ত ব্যাংকিং কোণ হয়, তবে $\tan \theta = \frac{v^2}{r.g} = \frac{100}{300 \times 9.8} = \frac{1}{3 \times 9.8}$

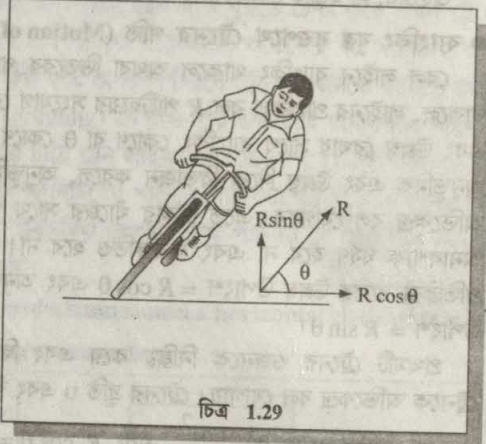
আবার, দুই পাটির উচ্চতার প্রভেদ h metre হলে, $\frac{h}{x} = \tan \theta$

অথবা, $\frac{h}{0.9} = \frac{1}{3 \times 9.8} \therefore h = \frac{0.9}{3 \times 9.8} = 0.0306 \text{ m} = 3.06 \text{ cm}$.

● বক্রপথে সাইকেলের গতি (Motion of a cycle in a curved path) :

যারা সাইকেল চালাতে জানে তারা লক্ষ করেছে যে বাঁক নিতে গেলে আরোহীকে সাইকেলসহ ভিতরের দিকে—অর্থাৎ বাঁকের বৃত্তাকার পথের কেন্দ্রাভিমুখী কাত হয়ে বাঁক নিতে হয়; খাড়াভাবে দ্রুতবেগে বাঁক নিতে গেলে সাইকেল উল্টে যাবার সম্ভাবনা থাকে।

সাইকেলসহ আরোহী রাস্তার উপর আনতভাবে চাপ দিলে রাস্তার প্রতিক্রিয়া বিপরীত দিকে ক্রিয়া করে এবং এই প্রতিক্রিয়ার অনুভূমিক উপাংশ আরোহীকে বাঁক নেবার জন্য প্রয়োজনীয় অভিকেন্দ্র বল সরবরাহ করে। ভূমির প্রতিক্রিয়া বল R হলে, তার অনুভূমিক উপাংশ $= R \cdot \cos \theta$ এবং উল্লম্ব উপাংশ $= R \cdot \sin \theta$ [চিত্র 1.29]।



চিত্র 1.29

অতএব, $R \cdot \cos \theta = \frac{mv^2}{r}$ এবং $R \cdot \sin \theta =$

$$m \cdot g. \therefore \tan \theta = \frac{r \cdot g}{v^2}$$

অতএব, সাইকেল আরোহী v বেগে r ব্যাসার্ধের বাঁক নিতে গেলে তাকে অনুভূমিক রাস্তার সাথে যে কোণে আনত হতে হবে তা উক্ত সমীকরণ হতে হিসাব করা যাবে।

[দ্রঃ সমতলভূমিতে সাইকেল কাত হয়ে ঘোরার সময়, পিছলে পড়ার সম্ভাবনা। কিন্তু চাকা এবং মাটির ভিতর ঘর্ষণ সাইকেলকে রক্ষা করে। সর্বাপেক্ষা বেশি কাত হওয়ার অর্থ r -এর সর্বনিম্ন মান হওয়া। μ যদি ঘর্ষণগুণাঙ্ক হয়, ঘর্ষণবল $= \mu \times$ লম্ব প্রতিক্রিয়া $= \mu \cdot m \cdot g$; অতএব, r -এর সর্বনিম্ন মানের বেলায় $R \cdot \cos \theta = \mu \cdot m \cdot g$ হবে। আরও বেশি কাত হলে, সাইকেল পিছলে যাবে। কাজেই পিছলে না পড়ার জন্য, $\frac{mv^2}{r_{\min}} = \mu \cdot m \cdot g$ বা, $r_{\min} = \frac{v^2}{\mu g}$ ।

□ EXAMPLES □

1. সমতল রাস্তায় 12 kmh^{-1} বেগে চলতে চলতে জনৈক সাইকেল আরোহী 100 cm ব্যাসার্ধের বাঁক নিতে চেষ্টা করলে তাকে অনুভূমিক রাস্তার সাথে কত কোণে আনত হতে হবে? $g = 9.8 \text{ ms}^{-2}$.

উঃ। সাইকেল আরোহীর বেগ (v) $= \frac{12 \times 1000}{60 \times 60} = \frac{10}{3} \text{ ms}^{-1}$. বাঁকের ব্যাসার্ধ (r) $= 100 \text{ cm} = 1$

m ; নির্ণেয় কোণ θ হলে, $\tan \theta = \frac{r \cdot g}{v^2} = \frac{1 \times 9.8 \times 9}{100} = 0.882 \therefore \theta = 43^\circ 12'$ (প্রায়)।

2. সমতলভূমিতে 3 ms^{-1} বেগে চলতে চলতে একজন সাইকেল আরোহী বাঁদিকে মোড় ঘুরল। রাস্তা ও চাকার ঘর্ষণগুণাঙ্ক 0.3 হলে, কত কম ব্যাসার্ধের বৃত্তপথে সে ঘুরতে পারবে? $g = 9.8 \text{ ms}^{-2}$.

উঃ। $r_{\min} = \frac{v^2}{\mu g}$; এখন $v = 3 \text{ ms}^{-1}$; $g = 9.8 \text{ ms}^{-2}$ এবং $\mu = 0.3$

$$\therefore r_{\min} = \frac{(3)^2}{0.3 \times 9.8} = 3.06 \text{ m (প্রায়)}.$$

৩. একটি অনুভূমিক ঘূর্ণায়মান টেবিল তার কেন্দ্রগত উল্লম্ব অক্ষের সাপেক্ষে প্রতি মিনিটে 120 বার আবর্তন করছে। টেবিলের কেন্দ্র থেকে সর্বাধিক কত দূরে একটি ক্ষুদ্র বস্তু রাখা যেতে পারে যাতে টেবিলের সাপেক্ষে বস্তুর কোন গতি না থাকে? বস্তু এবং টেবিলের মধ্যে ঘর্ষণগুণাঙ্ক 0.8।

উঃ। টেবিলের ঘূর্ণনের জন্য বস্তুটি বহির্মুখী অপকেন্দ্র বল অনুভব করে ছুটে যেতে চেষ্টা করবে কিন্তু ঘর্ষণবল তাকে বাধা দেবে। কেন্দ্র হতে সর্বাধিক দূরত্বে অপকেন্দ্র বল ঘর্ষণবলের সমান হলে বস্তুটির গতি থাকবে না। যদি r সর্বাধিক দূরত্ব হয় এবং তখন টেবিলের গতিবেগ v হয় তবে,

$$\text{অপকেন্দ্র বল} = \frac{mv^2}{r} = m\omega^2 \cdot r = \frac{4\pi^2 m \cdot r}{T^2}$$

$$\text{এখন, ঘর্ষণবল} = \mu \times \text{অভিলম্ব প্রতিক্রিয়া} = \mu m \cdot g. \text{ অতএব, } \frac{4\pi^2 m \cdot r}{T^2} = \mu m \cdot g.$$

$$\text{অথবা, } r = \frac{\mu g \cdot T^2}{4\pi^2} = \frac{0.8 \times 980 \times \left(\frac{1}{2}\right)^2}{4 \times (3.14)^2} = 4.96 \text{ cm. (প্রায়).}$$

৪. একটি ঘূর্ণায়মান গ্রামোফোনের চাকতির ঘূর্ণাঙ্ক থেকে 7 cm দূরে একটি ক্ষুদ্র মুদ্রা রাখা আছে। শূন্য থেকে ঘূর্ণনের হার ধীরে ধীরে বৃদ্ধি করায় যখন ঘূর্ণনের হার প্রতি মিনিটে 60 বার হয় তখন মুদ্রাটি বাইরের দিকে চলতে আরম্ভ করে। যদি মুদ্রাটি অক্ষ থেকে 12 cm দূরে রাখা হয়, তবে ঘূর্ণনের হার কত হলে মুদ্রার চলন শুরু হবে?

উঃ। ঘূর্ণনের দরুন মুদ্রাটি অপকেন্দ্র বল অনুভব করে বাইরের দিকে যেত চেষ্টা করবে কিন্তু ঘর্ষণ বল তাকে বাধা দেবে। যখন ঘর্ষণ বলের সীমাস্থ মান অপকেন্দ্র বলের সমান হবে তখন মুদ্রাটি চলতে শুরু করবে। চাকতির ঘূর্ণনের হার n হলে, ঘূর্ণাঙ্ক থেকে r দূরে মুদ্রার উপর ক্রিয়ারত অপকেন্দ্র বল $F = m\omega^2 \cdot r = m(2\pi n)^2 \cdot r = 4\pi^2 n^2 \cdot mr$

$$\therefore \text{ঘর্ষণ বলের সর্বোচ্চ মান } F_3 = 4\pi^2 \cdot n^2 \cdot mr = 4 \times \pi^2 \times \left(\frac{60}{60}\right)^2 \times m \times 7 = 28\pi^2 \cdot m.$$

যখন মুদ্রাটি ঘূর্ণাঙ্ক থেকে 12 cm দূরে, তখন ধর চাকতির ঘূর্ণন বেগ ω_1 হলে মুদ্রাটি চলতে শুরু করল। তাহলে, $F_s = (\omega_1)^2 \cdot mr = (2\pi n_1)^2 \cdot m \times 12$

$$\therefore 28\pi^2 \cdot m = (2\pi n_1)^2 \cdot m \times 12 \quad [n_1 = \text{প্রতি সেকেন্ডে ঘূর্ণন সংখ্যা}]$$

$$\text{অথবা, } n_1 = \sqrt{\frac{7}{12}} \text{ প্রতি সেকেন্ড} = \sqrt{\frac{7}{12}} \times 60 = 45.8 \text{ বার প্রতি মিনিটে}$$

1.18.

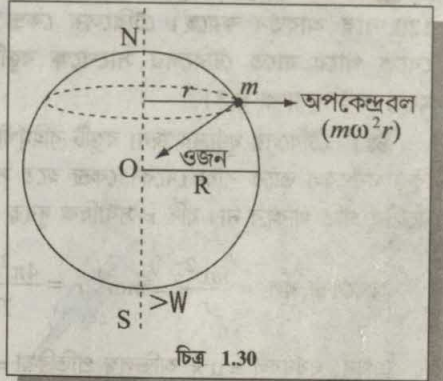
অপকেন্দ্র বলের কয়েকটি ফলাফল ও প্রয়োগ

(Some effects and applications of centrifugal force):

(ক) পৃথিবীর দৈনিক গতির দরুন পার্থিব বস্তুর ওজন হ্রাস (Loss of weight of terrestrial bodies due to the earth's diurnal motion):

পৃথিবী যেমন সূর্যের চতুর্দিক প্রদক্ষিণ করে, তেমনি নিজ অক্ষের চতুর্দিকেও আবর্তন করে। একে পৃথিবীর দৈনিক গতি বলা হয়। এই গতির জন্য দিন-রাত্রি দেখা যায়।

মনে করো, পৃথিবীর উপর m ভরের একটি বস্তু আছে [চিত্র 1.30]। তার ওজন mg (যে বলের দ্বারা পৃথিবী বস্তুকে নিজ কেন্দ্রের দিকে আকর্ষণ করে) পৃথিবীর কেন্দ্রাভিমুখী ক্রিয়া করবে। এখন, পৃথিবীর দৈনিক গতির সঙ্গে সঙ্গে বস্তুটিও পৃথিবীর অক্ষের চতুর্দিকে একই কৌণিক বেগে প্রদক্ষিণ করে এবং একটি অপকেন্দ্র বল ($m\omega^2 r$) অনুভব করে। এই বলের প্রভাবে বস্তুটি তার বৃত্তাকার পথের ব্যাসার্ধ বরাবর বহির্মুখী ছুটে যেতে চেষ্টা করে; কিন্তু বস্তুর ওজনের একাংশ সর্বদা বিপরীত দিকে ক্রিয়া করে অপকেন্দ্র বলকে নিষ্ক্রিয় করে। ফলে, পৃথিবী স্থির থাকলে বস্তুর যে ওজন হত, এই গতির দরুন বস্তুর ওজন তা থেকে কিছু কম হয়।



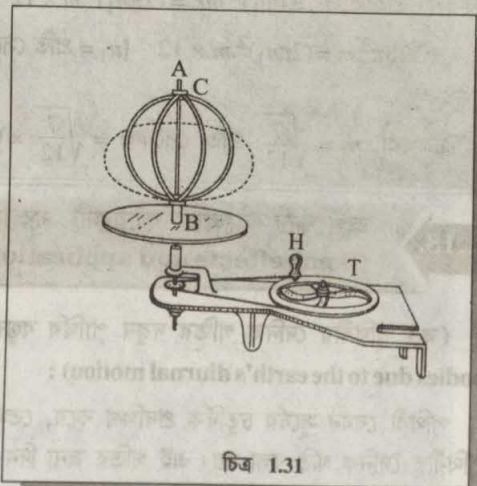
চিত্র 1.30

একথা সহজেই বোঝা যায় যে বস্তু যতই মেরু-অঞ্চল হতে নিরক্ষ-রেখা অঞ্চলের দিকে আসে, ততই তার বৃত্তাকার পথের ব্যাসার্ধ বৃদ্ধি পায় এবং তত অপকেন্দ্র বলও ($m\omega^2 r$) বৃদ্ধি পায়। ঠিক নিরক্ষরেখায় এই ব্যাসার্ধ (R) সর্বাধিক এবং ওজন-হ্রাসও সর্বাধিক। আবার, ঠিক মেরুতে এই ব্যাসার্ধ শূন্য এবং ওজন-হ্রাসও শূন্য।

(খ) পৃথিবীর মেরুপ্রদেশ চাপা হবার কারণ (Reason for the flattening of the earth at the poles) : পৃথিবীর আকার সম্পূর্ণ গোল নয়; উত্তর ও দক্ষিণ মেরু অঞ্চল একটু চাপা এবং নিরক্ষীয় অঞ্চল (equatorial region) একটু ফ্যাত। পৃথিবীর এইরূপ আকারের কারণ নিজ অক্ষের চতুর্দিকে পৃথিবীর দৈনিক গতি ও তজ্জনিত অপকেন্দ্র বলের সৃষ্টি।

পৃথিবী যখন প্রথম সৃষ্টি হয় তখন তা গলিত বস্তু (fused matter) দ্বারা গঠিত ছিল বলেই মনে করা হয়। এখন, পৃথিবী নিজ অক্ষের চতুর্দিকে ঘোরার জন্য পৃথিবীপৃষ্ঠের বস্তুকণাগুলি অপকেন্দ্র বল অনুভব করে। এই বলের পরিমাণ নিরক্ষীয় অঞ্চলে সর্বাধিক এবং মেরু অঞ্চল সম্পূর্ণ শূন্য। এই কারণে, নিরক্ষীয় অঞ্চলের বস্তুকণাগুলির বাইরের দিকে ছুটে যাবার প্রবণতা সর্বাধিক হয় এবং এই প্রবণতা ক্রমশ হ্রাস পেয়ে মেরু অঞ্চলে বিলুপ্ত হয়। পৃথিবীপৃষ্ঠের বস্তুকণাগুলি প্রাথমিক স্তরে গলিত অবস্থায় থাকলেও পরস্পরের ভিতর সংসক্তি (cohesion) যথেষ্ট ছিল; এই কারণে অপকেন্দ্র বলের জন্য নিরক্ষীয় অঞ্চল খানিকটা ফ্যাত হতে চেষ্টা করলে মেরু অঞ্চলকে সঙ্গে সঙ্গে চাপা করে দিয়েছে। সময়ের সঙ্গে পৃথিবীপৃষ্ঠ যখন ক্রমশ জমাট বেঁধে শক্ত হয়েছে, তখন এর আকারের এই বৈষম্য একটি স্থায়ী বিশেষত্বে পরিণত হয়েছে। নিম্নলিখিত মডেলের সাহায্যে গবেষণাগারে উক্ত ঘটনা খুব সুন্দরভাবে দেখানো হয়ে থাকে।

পাতলা ধাতব পাতের তৈরি কয়েকটি গোলাকার রিং একটি টাকু (spindle) AB -এর সাথে যুক্ত [চিত্র 1.31]। রিংগুলি একসঙ্গে মিলে একটি গোলাকের পৃষ্ঠদেশ তৈরি করে বলে মনে করা যেতে পারে। এর তলদেশ টাকুর সাথে দৃঢ়ভাবে আবদ্ধ এবং শীর্ষদেশ একটি কলার (collar) C -এর সাথে যুক্ত। এই কলারটি টাকু-দণ্ড বরাবর উপর-নীচ চলাচল করতে পারে। টাকু-দণ্ড খাড়াভাবে একটি অনুভূমিক ঘূর্ণি-টেবিল T (whirling table)-এর সাথে আবদ্ধ। এখন ঘূর্ণি-টেবিলের হাতল H -এর সাহায্যে দ্রুত টাকুকে ঘোরালে, রিংগুলিও ঘুরবে এবং পাতের প্রত্যেকটি কণা অপকেন্দ্র বল অনুভব করে বহির্মুখী সরে যেতে চেষ্টা করবে। এর ফলে কলার C খানিকটা



চিত্র 1.31

নেমে আসবে এবং রিংগুলির তলদেশ ও শীর্ষদেশ চাপ্টা হবে। সঙ্গে সঙ্গে রিংগুলি মাঝবরাবর স্ফীত হবে। একযোগে তাদের আকার যেরূপ হবে তা কাটা কাটা রেখা দ্বারা দেখানো হয়েছে।

(গ) সেন্ট্রিফিউজ (Centrifuge) : এটা এমন যন্ত্র যার সাহায্যে তরলে ভাসমান বিভিন্ন ঘনত্বের বস্তুকণাকে পৃথক করা যায়। দুধ হতে মাখন তোলা, রক্ত হতে রক্তকণিকা পৃথক করা প্রভৃতি এই যন্ত্রের সাহায্যে খুব সহজে করা যায়।

ভিজা কাপড় শুকাবার জন্য একই পদ্ধতি অবলম্বন করা হয় অপর একটি যন্ত্রে—যার নাম ‘সেন্ট্রিফিউগাল ডাইং মেশিন’ (centrifugal drying machine)। এটি একটি চোঙাকৃতি পাত্র। এর দেওয়ালে কতকগুলি ছিদ্র থাকে এবং একটি অক্ষের চতুর্দিকে দ্রুতবেগে ঘুরতে পারে। ভিজা কাপড় এই পাত্রে রেখে পাত্র দ্রুত ঘোরালে কাপড়ের জলকণাগুলি অপকেন্দ্র বলের প্রভাবে ছিটকে দেওয়ালের ছিদ্র দিয়ে বার হয়ে আসে এবং কাপড় শুকিয়ে যায়।

1.19.

রৈখিক গতি ও আবর্ত গতির তুলনা (Comparison between linear motion and rotational motion) :

রৈখিক গতি	আবর্ত গতি
1. সরণ (s)	কৌণিক সরণ (θ)
2. গতিবেগ ($v = \frac{ds}{dt}$)	কৌণিক গতিবেগ ($\omega = \frac{d\theta}{dt}$)
3. ত্বরণ ($a = \frac{d^2s}{dt^2}$)	কৌণিক ত্বরণ ($\alpha = \frac{d^2\theta}{dt^2}$)
4. ভরবেগ ($=mv$)	কৌণিক ভরবেগ ($=I\omega$)
5. বল ($F=ma$)	টর্ক ($\tau = I\alpha$)
6. গতিশক্তি ($E_k = \frac{1}{2}mv^2$)	আবর্ত গতিশক্তি ($E_k = \frac{1}{2}I\omega^2$)
7. ক্ষমতা ($=F.v$) [F =বল]	ক্ষমতা ($=\tau.\omega$) [τ =টর্ক]
8. রৈখিক ভরবেগ সংরক্ষণ নীতি প্রযোজ্য।	কৌণিক ভরবেগ সংরক্ষণ নীতি প্রযোজ্য।

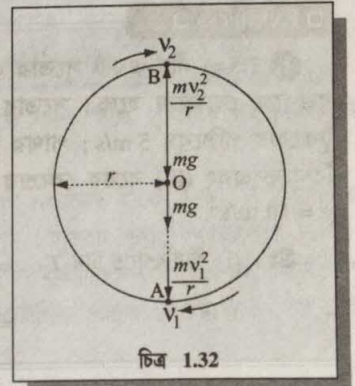
1.20.

উল্লম্ব বৃত্তপথে বস্তুর ঘূর্ণগতি

(Rotational motion of a body in a vertical circle) :

ধর, m ভরের একটি বস্তুকে সুতোয় বেঁধে উল্লম্ব বৃত্তপথে ঘোরানো হচ্ছে। এই অবস্থায়, বস্তুর ওজন সর্বদা খাড়া নিম্নমুখী ক্রিয়া করবে কিন্তু অপকেন্দ্র প্রতিক্রিয়া সুতো বরাবর কেন্দ্র বহিমুখী ক্রিয়া করবে। ফলে, উল্লম্ব বৃত্ত বরাবর বস্তুর ঘূর্ণগতি সুখম (uniform) হবে না; সুতোর টানও সর্বদা স্থির (constant) থাকে না। বস্তু যখন উর্ধ্বমুখী যায় তখন তার গতিবেগ ক্রমশ কমে আসে কারণ তখন অভিকর্ষ বল গতির বিরোধিতা করে; আবার নিম্নমুখী যাবার সময় গতিবেগ ক্রমশ বাড়ে কারণ তখন অভিকর্ষ বল তখন গতিকে সাহায্য করে। বৃত্তের সর্বনিম্ন বিন্দুতে সুতোর টান সর্বাধিক এবং তা বস্তুর ওজন এবং অপকেন্দ্র প্রতিক্রিয়ার সমষ্টি; আবার বৃত্তের সর্বোচ্চ বিন্দুতে টান সর্বাপেক্ষা কম এবং তা অপকেন্দ্র প্রতিক্রিয়া ও বস্তুর ওজনের বিয়োগফলের সমান (চিত্র 1.32)।

ধর, বৃত্তের সর্বনিম্ন বিন্দু A-তে গতিবেগ $=v_1$ এবং সর্বোচ্চ



চিত্র 1.32

বিন্দু B-তে গতিবেগ $= v_2$; A এবং B বিন্দুতে সুতোর টান যথাক্রমে T_1 এবং T_2 হলে,

$$T_1 = \frac{mv_1^2}{r} + mg \text{ এবং } T_2 = \frac{mv_2^2}{r} - mg \dots (i)$$

বৃত্তের শীর্ষবিন্দু B-তে যদি সুতোর টান ঠিক শূন্য হয় ($T_2 = 0$) তবে, $\frac{mv_2^2}{r} = mg$ অথবা $v_2 = \sqrt{gr} \dots (ii)$

একথা সহজে বোঝা যায় যে শীর্ষবিন্দুতে বস্তুর গতিবেগ এই সন্ধি গতিবেগ (critical velocity) অর্থাৎ v_2 -এর কম হলে, সুতো আলাগা হয়ে পড়বে। তখন বস্তু বৃত্তপথে না ঘুরে নীচে পড়ে যাবে।

● সন্ধিবেগ বজায় রাখার জন্য ন্যূনতম গতিবেগ:

বৃত্তের শীর্ষবিন্দুতে উপরোক্ত সন্ধি গতিবেগ বজায় রাখতে হলে, বৃত্তের সর্বনিম্ন বিন্দুতে ন্যূনতম গতিবেগ এরূপ মানের হওয়া উচিত যে, উর্ধ্বগতির সময় ঐ গতিবেগ ক্রমশ কমে শীর্ষবিন্দুতে ঠিক v_2 হয়। A বিন্দু হতে B বিন্দুতে পৌঁছালে বস্তু $2r$ উচ্চতা আরোহণ করে। এতে বস্তুর $mg \times 2r$ পরিমাণ স্থিতিশক্তি বৃদ্ধি পায়। স্পর্শিত এই স্থিতিশক্তি বৃদ্ধি বস্তুর গতিবেগ কমে যাবার দরুন গতিশক্তি হ্রাসের সমান হবে। কাজেই,

$$\frac{1}{2}mv_1^2 - \frac{1}{2}mv_2^2 = mg \times 2r \quad \text{বা, } \frac{1}{2}mv_1^2 = mg \times 2r + \frac{1}{2}mv_2^2$$

$$\text{বা, } v_1^2 = 4gr + v_2^2 = 4gr + gr = 5gr \quad [(ii) \text{ নং সমীকরণ থেকে}]$$

$$\text{কাজেই, } v_1\text{-এর ন্যূনতম মান হবে } (v_1)_{\min} = \sqrt{5gr}$$

● ন্যূনতম টান (Minimum tension):

আমরা দেখলাম যে, উল্লম্ব বৃত্ত বরাবর গতি বজায় রাখতে হলে, বৃত্তের ন্যূনতম বিন্দু A-তে গতিবেগ হবে $(v_1)_{\min} = \sqrt{5gr}$; তখন শীর্ষবিন্দু B-তে গতিবেগ হবে $v_2 = \sqrt{gr}$ এবং টান হবে শূন্য। গতিবেগের এই মানগুলি T_1 -এর সমীকরণে বসালে আমরা বৃত্তগতি বজায় রাখবার জন্য (বৃত্তের ন্যূনতম বিন্দুতে) সুতোর ন্যূনতম টান কত হবে তা নির্ধারণ করতে পারব। (i) নং সমীকরণ হতে পাই,

$$T_1 = \frac{mv_1^2}{r} + mg = \frac{mv_1^2}{r} + \frac{mv_2^2}{r} \quad \left[T_2 = 0 \therefore \frac{mv_2^2}{r} = mg \right]$$

$$\therefore (T_1)_{\min} = \frac{m}{r} [(v_1)_{\min}^2 + (v_2)_{\min}^2] = \frac{m}{r} [5gr + gr] = 6mg = 6 \times \text{বস্তুর ওজন}$$

দেখা গেল যে, বৃত্তপথে বস্তুকে ঠিক ঘুরিয়ে আনলে বৃত্তের ন্যূনতম বিন্দুতে সুতোর টান (ন্যূনতম) হবে বস্তুর ওজনের ছয়গুণ।

□ EXAMPLES □

1. 2.5 m দীর্ঘ একটি সুতোর একপ্রান্তে 10 g ভরের পাথর টুকরোকে আবদ্ধ করে উল্লম্ব বৃত্তপথে ঘোরানো হচ্ছে। সুতোর অপর প্রান্ত দৃঢ়ভাবে আবদ্ধ। বৃত্তের শীর্ষবিন্দুতে পাথর টুকরোর গতিবেগ 5 m/s; পাথর টুকরোটি যখন (i) বৃত্তের শীর্ষবিন্দুতে, (ii) বৃত্তের সর্বনিম্ন বিন্দুতে এবং (iii) বৃত্তের কেন্দ্রের সাথে এক লেভেল থাকে তখন সুতোর টান কত হবে? $g = 10 \text{ m/s}^2$.

$$\begin{aligned} \text{উঃ। (i) শীর্ষবিন্দুতে টান } T_2 &= \frac{mv_2^2}{r} - mg \quad [m = 10 \text{ g} = 0.01 \text{ kg}] \\ &= \frac{0.01 \times 25}{2.5} - 0.01 \times 10 = 0. \end{aligned}$$

(ii) সর্বনিম্ন বিন্দুতে টান, $T_1 = \frac{mv_1^2}{r} + mg$; এখন $T_2 = 0$ হলে, সর্বনিম্ন বিন্দুতে গতিবেগ v_1 -

এর মান সর্বনিম্ন অথবা $v_1 = \sqrt{5gr} = \sqrt{5 \times 10 \times 2.5} = 5\sqrt{5} \text{ ms}^{-1}$

$$\therefore T_1 = \frac{0.01 \times 25 \times 5}{2.5} + 0.01 \times 10 = 0.6 \text{ N.}$$

(iii) ধর, কেন্দ্রের সাথে এক লেভেলে, বস্তুর গতিবেগ $= v$; তখনকার টান $T = \frac{mv^2}{r}$ কারণ এই অবস্থায় বস্তুর ওজন সুতার টানের সাথে লম্বভাবে ক্রিয়া করে এবং টানের উপর কোনো প্রভাব বিস্তার করে না।

এখন, কেন্দ্রের লেভেলে বস্তুর মোট গতিশক্তি = শীর্ষবিন্দুতে গতিশক্তি + 2.5 m অবতরণের জন্য স্থিতিশক্তি হ্রাস = $\frac{1}{2}mv_2^2 + mgh = \frac{1}{2} \times 0.01 \times 25 + 0.01 \times 10 \times 2.5 = 0.375 \text{ N-m.}$

কেন্দ্রের লেভেলে বস্তুকণার গতিবেগ v ধরা হয়েছে:

$$\text{অতএব, } \frac{1}{2}mv^2 = 0.375 \text{ বা, } v^2 = \frac{0.375 \times 2}{0.01} = 75$$

$$\therefore \text{টান, } T = \frac{mv^2}{r} = \frac{0.01 \times 75}{2.5} = 0.3 \text{ N}$$

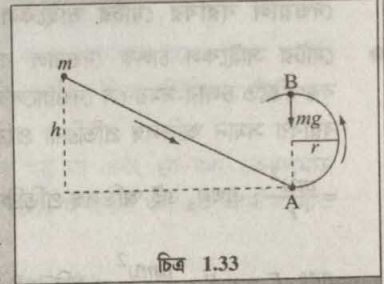
2. h উচ্চতার বিন্দু হতে একটি বল নততল বরাবর গড়িয়ে পড়ে অনুভূমিকভাবে না গিয়ে r ব্যাসার্ধের একটি বৃত্তপথে ঘুরে গেল। h -এর নিম্নতম কত মানে বলটি ঐরূপ গতি সম্পন্ন করতে পারবে? ঘর্ষণ অগ্রাহ্য করতে পারো।

উঃ। অনুভূমিকভাবে না গিয়ে উল্লম্ব বৃত্তপথে ঘুরতে গেলে, বৃত্তের সর্বনিম্ন বিন্দু A-তে বলের নিম্নতম গতিবেগ

$$v = \sqrt{5.gr.}; \text{ অতএব, A বিন্দুতে বলের গতিশক্তি} = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2}m \times 5.gr.$$

পড়ন্ত বল এই গতিশক্তি লাভ করবে h উচ্চতায় থাকাকালীন স্থিতিশক্তির বিনিময়ে (চিত্র 1.33)।

$$\text{অতএব, } mgh = \frac{1}{2}m \times 5.gr. \quad h = \frac{5.gr.m}{2m.g} = \frac{5}{2}.r$$



এই পরিচ্ছেদের বিষয়বস্তু সম্পর্কে কয়েকটি প্রশ্ন (Some typical problems of this chapter)

- কোনো ভারী জ্যোতিষ্ক যদি আকাশ হতে ভূপৃষ্ঠে পড়ে তবে পৃথিবীর কৌণিক গতিবেগ কী হ্রাস পাবে?
- বাইরে থেকে টর্ক ক্রিয়া না করলে বস্তুর কৌণিক ভরবেগ সংরক্ষিত থাকে। এখন, ভূপৃষ্ঠে পড়ার পূর্বে পৃথিবীর অক্ষ বেড়ে জ্যোতিষ্কের কৌণিক ভরবেগ শূন্য। সুতরাং ভূপৃষ্ঠে পড়ার পর পৃথিবী এবং জ্যোতিষ্কের মোট কৌণিক ভরবেগ = কেবল মাত্র পৃথিবীর কৌণিক ভরবেগ। এখন, জ্যোতিষ্ক ভূপৃষ্ঠে পড়লে পৃথিবীর ভর কিছু বৃদ্ধি পাবে। অতএব মোট কৌণিক ভরবেগ ঠিক রাখতে গেলে, পৃথিবীর বর্তমান কৌণিক গতিবেগ কিছু হ্রাস পাবে।

2. পৃথিবীর আকার সম্পূর্ণ গোল হলেও বিভিন্ন অক্ষাংশে কোনো বস্তুর ওজন বিভিন্ন হত কেন ?
 - বিভিন্ন অক্ষাংশে বস্তুর ওজন বিভিন্ন হবার দুটি কারণ (i) পৃথিবীর অনিয়মিত আকার এবং (ii) নিজ অক্ষের চতুর্দিকে পৃথিবীর আবর্তন। পৃথিবীর অনিয়মিত আকারের জন্য বিভিন্ন অক্ষাংশের বিন্দু ভূকেন্দ্রে হতে সমান দূরে অবস্থিত নয়। নিরক্ষরেখা (equator) হতে মেরুর দিকে অগ্রসর হলে, এই দূরত্ব ক্রমশ হ্রাস পায়। ফলে, বিভিন্ন অক্ষাংশের বিন্দুতে অভিকর্ষজ ত্বরণের মান বিভিন্ন হয়ে বস্তুর ওজনের বিভিন্নতা সৃষ্টি করে। আবার, নিজ অক্ষের চতুর্দিকে পৃথিবীর আবর্তগতির জন্য ভূপৃষ্ঠের উপর অবস্থিত যে-কোনো বস্তু ভূকেন্দ্রে বহির্মুখী একটি অপকেন্দ্রে বল অনুভব করে এবং ভূপৃষ্ঠ ত্যাগ করে দূরে চলে যাবার প্রবণতা পায়। কিন্তু বস্তুর প্রকৃত ওজনের একাংশ এর বিরুদ্ধাচরণ করে বস্তুকে ভূপৃষ্ঠে আটকে রাখে। এই কারণেও বস্তু কিছু ওজন নষ্ট করে। এখন, বিভিন্ন অক্ষাংশে পৃথিবীর বৃত্তগতির ব্যাসার্ধ সমান নয়; নিরক্ষরেখায় সর্ববৃহৎ এবং মেরু অঞ্চলে প্রায় শূন্য। এই কারণে, নিরক্ষরেখায় বস্তুর ওজন-হ্রাস সর্বাধিক এবং মেরু অঞ্চলে সর্বনিম্ন। পৃথিবীর আকার সম্পূর্ণ গোল হলে, প্রথম কারণটি থাকে না; কিন্তু দ্বিতীয় কারণটি থেকে যায়। তাই আকার সম্পূর্ণ গোল হলেও, আবর্তগতির জন্য বিভিন্ন অক্ষাংশে বস্তুর ওজন বিভিন্ন হবে।
3. সার্কাসের 'মৃত্যু-কূপ' খেলায় একজন মোটর সাইকেল আরোহী নীচে না পড়ে কূপের দেওয়াল বরাবর মোটর সাইকেল চালায়। এটা কীরূপে সম্ভব ?
 - মোটর সাইকেল চালক দেওয়াল বরাবর দ্রুতগতিতে বৃত্তাকার পথে সাইকেল চালায়। ঐরূপ বৃত্তগতিতে চলার সময় সে দেওয়ালের উপর ব্যাসার্ধ বরাবর বল প্রয়োগ করে। দেওয়ালও ব্যাসার্ধ বরাবর সমান অভিলম্ব প্রতিক্রিয়া প্রয়োগ করে। ধরো, এই অভিলম্ব প্রতিক্রিয়া $= R$; এক্ষেত্রে $R = \frac{mv^2}{r}$; এখন, এই অভিলম্ব প্রতিক্রিয়ার দরুন দেওয়াল বরাবর উর্ধ্বমুখী ঘর্ষণবল F ক্রিয়া করবে এবং $F = \mu R = \frac{\mu mv^2}{r}$ । যদি এই ঘর্ষণবল চালক এবং সাইকেলের মোট ওজনের সমান হয় তবেই চালক নীচে না পড়ে একটি নির্দিষ্ট বৃত্তপথে ঘুরতে থাকবে। অতএব, r ব্যাসার্ধের বৃত্তপথে ঘুরতে হলে সাইকেলের নিম্নতম বেগ হবে $\frac{\mu mv_{min}^2}{r} = mg$ অথবা, $v_{min} = \sqrt{\frac{rg}{\mu}}$ ।
4. একটি পাথরখণ্ডকে সুতোয় বেঁধে নির্দিষ্ট বেগে অনুভূমিক তলে বৃত্তপথে ঘোরানো হলে সুতোটি ছিঁড়ে যায় না। কিন্তু একই বেগে উল্লম্ব তলে ঘোরালে সুতোটি ছিঁড়ে গেল। কারণ কী ?
 - ধরো, পাথরখণ্ডটির ভর m এবং গতিবেগ v । অনুভূমিক তলে বৃত্তীয় গতির ক্ষেত্রে, সুতোয় টান = অপকেন্দ্রে বল $= mv^2/l$ [l = সুতোর দৈর্ঘ্য]। এ অবস্থায় সুতো ছিঁড়ে না বলে বোঝা যায় অপকেন্দ্রে বল সুতো ছিঁড়ার পক্ষে যথেষ্ট নয়। একই বেগে উল্লম্ব তলে ঘোরানো হলে, পাথরখণ্ডটি যখন বৃত্তের সর্বনিম্নবিন্দুতে উপস্থিত হয়, তখন সুতোয় টান = অপকেন্দ্রে বল + পাথরখণ্ডের ওজন $= (mv^2/l) + mg$ । এক্ষেত্রে টান বৃদ্ধি পাওয়াতে সুতো ছিঁড়ে গেল।
5. দুধের মধ্যে একটি দণ্ড দ্বারা ঘূর্ণন সৃষ্টি করলে দুধ হতে মাখন পৃথক হয়ে যায় কেন ?
 - বিভিন্ন ঘনত্বের বস্তুকণা যদি কোনো তরলে ভাসে এবং ঐ তরলের ভিতর যদি দ্রুত ঘূর্ণন সৃষ্টি করা যায় তবে অপকেন্দ্রে বলের প্রভাবে ঘনত্বের বস্তুগুলি ঘূর্ণাক্ষ হতে দূরে সরে যায় এবং লঘুতর কণাগুলি ঘূর্ণাক্ষের কাছে এসে জমা হয়। দুধ হতে মাখন তোলার সময় একটি দণ্ডের সাহায্যে দুধের মধ্যে

দ্রুত ঘূর্ণনের সৃষ্টি করা হয়। মাখন তোলা দুধ হতে মাখন হালকা হওয়ায়, দণ্ডের চতুর্দিকে মাখন জমা হয় এবং পরে তা আলাদা করা হয়।

6. বৃত্তপথে সুযম বেগে গতিশীল বস্তুকণার উপর অভিলম্ব ত্বরণ সর্বদা কেন্দ্রমুখী ক্রিয়া করে। কিন্তু বস্তু কণা কেন্দ্রমুখী না গিয়ে একই বৃত্তপথে ঘুরতে থাকে। এর কারণ কি ?

● অভিলম্ব ত্বরণ বৃত্তের কেন্দ্রাভিমুখী ক্রিয়া করে বলে বস্তুকণার গতির অভিমুখের সাথে (অর্থাৎ বৃত্তের স্পর্শক) লম্ব হয়। বস্তুর গতির অভিমুখের দিকে এই ত্বরণের কোনো উপাংশ থাকে না। ফলে কণার দ্রুতির কোনো পরিবর্তন হয় না। তাই কণা একই বৃত্তপথে ঘুরতে থাকে।

7. ঋজুগতির বেলায় বস্তুর গতি ত্বরণহীন হতে পারে। কিন্তু বৃত্তগতির বেলায় সর্বদা একটি ত্বরণ থাকে। কেন ব্যাখ্যা করো।

● ঋজুগতির বেলায় বস্তুর উপর বাইরে থেকে কোনো বল প্রয়োগ না করলে বস্তু সুযম বেগে চলে ; তার কোনো ত্বরণ থাকে না কারণ তার গতিবেগের কোনো পরিবর্তন হয় না। কিন্তু বৃত্তগতির বেলায় বস্তুর উপর বাইরে থেকে বল প্রয়োগ করতে হয় যাকে অভিকেন্দ্র বল বলে। বস্তুর অভিমুখ জাডা (directional inertia) প্রতিহত করার জন্য অভিকেন্দ্র বলের প্রয়োজন। যেহেতু বৃত্তগতির বেলায় বস্তুর উপর সর্বদা একটি বল প্রযুক্ত হয়, তাই বস্তুরও সর্বদা একটি ত্বরণ থাকে। উল্লেখ করা যায় যে এই ত্বরণকে অভিলম্ব ত্বরণ বলে।

8. অভিকেন্দ্র বল বাস্তব বল ; অপকেন্দ্র বল অলীক বল। ব্যাখ্যা করো।

● বস্তুসমূহের পারস্পরিক ক্রিয়া-প্রতিক্রিয়ায় যে-বলের উদ্ভব হয় তাকে বাস্তব বল বলে। বাস্তব বলের উৎস (origin) চিহ্নিত করা যায়। অভিকেন্দ্র বল দুটি বস্তুর পারস্পরিক ক্রিয়া প্রতিক্রিয়ায় উদ্ভব হয় বলে, একে বাস্তব বল বলে।

যে বল দুই বা ততোধিক বস্তুর ক্রিয়া-প্রতিক্রিয়ায় উদ্ভব হয় না এবং যে-বল কেবলমাত্র অজড়ত্বীয় নির্দেশ তত্ত্বে অস্তিত্ব প্রকাশ করে তাকে অলীক বল বলে। অপকেন্দ্র বল এই অর্থে অলীক বল।

9. চলনগতি একটি নির্দিষ্ট দিকে হয়। ঘূর্ণন গতিতে কি অপরিবর্তিত থাকে ?

[Jt. Entrance 1991]

● ঘূর্ণনগতিতে বস্তুর ত্বরণ সর্বদা ব্যাসার্ধ বরাবর কেন্দ্রাভিমুখী হয়।

10. চক্রগতির ব্যাসার্ধ কাকে বলে ? দুটি গোলকের ভর ও বহির্ব্যাসার্ধ সমান। এদের একটি ফাঁপা ও অপরটি নিরেট। কোনটির চক্রগতির ব্যাসার্ধ বেশি হবে ? [Jt. Entrance 2001]

● কোনো অক্ষ সাপেক্ষে কোনো বস্তুর চক্রগতির ব্যাসার্ধ বলতে ঐ অক্ষ থেকে এমন দূরত্ব বোঝায় যে দূরত্বে বস্তুর সমস্ত ভর কেন্দ্রীভূত আছে মনে করলে ঐ অক্ষের সাপেক্ষে বস্তুর ও ঐ বিন্দুভরের জ্যাডামাক সমান হবে।

কোনো ব্যাস সাপেক্ষে নিরেট গোলকের চক্রগতির ব্যাসার্ধ $k_1^2 = \frac{2}{5} R^2 = 0.4 R^2$

একইভাবে ফাঁপা গোলকের বহির্ব্যাসার্ধ R এবং ভিতরের ব্যাসার্ধ r হলে, চক্রগতির ব্যাসার্ধ

$$k_2^2 = \frac{2}{5} \frac{(R^5 - r^5)}{(R^3 - r^3)} \text{ এখন, } k_2^2 = \frac{2(R^5 - r^5)}{5(R^3 - r^3)} = \frac{2}{5} R^2 \left(\frac{1 - \frac{r^5}{R^5}}{1 - \frac{r^3}{R^3}} \right) = k_1^2 \frac{(1 - \frac{r^5}{R^5})}{(1 - \frac{r^3}{R^3})}$$

যেহেতু $R > r$ সেহেতু, $\frac{r}{R} < 1 \therefore \left(\frac{r}{R} \right)^5 < \left(\frac{r}{R} \right)^3$

অতএব, $1 - \left(\frac{r}{R}\right)^5 > 1 - \left(\frac{r}{R}\right)^3$; অতএব, $k_2^2 > k_1^2$.

11. a বেগে ছুটন্ত একটি ট্রাকের চালক সহসা a দূরে একটি দেওয়াল দেখতে পেল। দেওয়ালের সাথে সংঘর্ষ এড়াবার জন্য চালক কি ব্রেক কষবে, অথবা ব্রেক না কষে, বৃত্তপথে মোড় ঘুরে যাবে ?

● বৃত্তপথে ঘুরলে, অভিকেন্দ্র বল $= \frac{mv^2}{a}$; ব্রেক কষলে $\frac{1}{2}mv^2 = \text{মন্দন বল} \times a$.

\therefore মন্দন বল $= \frac{mv^2}{2a}$ । যেহেতু $\frac{mv^2}{a} > \frac{mv^2}{2a}$ তাই ব্রেক কষা সুবিধাজনক।

12. সূর্যের চতুর্দিকে উপবৃত্তাকার পথে পরিভ্রমণ করার সময় যখন কোনো গ্রহ সূর্যের নিকটবর্তী আসে তখন তার কৌণিক বেগ বৃদ্ধি পায়। কেন ?

● উপবৃত্তাকার পথে পরিভ্রমণ করার সময় সূর্য থেকে গ্রহের দূরত্ব বাড়ে-কমে। যখন গ্রহ সূর্যের সর্বাপেক্ষা নিকটবর্তী হয় তখন সূর্য সাপেক্ষে গ্রহের জ্যাভ্রামক হ্রাস পায়। কৌণিক ভরবেগ সংরক্ষণ সূত্রানুযায়ী, গ্রহের কৌণিক গতিবেগ বৃদ্ধি পায়। একই কারণে গ্রহ সূর্য থেকে সর্বাধিক দূরত্বে গেলে, তার কৌণিক গতিবেগ হ্রাস পাবে।

13. মেরু প্রদেশের বরফ গলে জল হলে দিনের দৈর্ঘ্যের কি কোনো পরিবর্তন হবে ?

● হবে ; দিনের দৈর্ঘ্য বেড়ে যাবে। কারণ : বরফ গলে জল হলে, ঐ জল মেরুপ্রদেশ থেকে বিষুব অঞ্চলে চলে আসবে। পৃথিবীর বেশ কিছু ভর এইভাবে পৃথিবীর ঘূর্ণাক্ষ থেকে সরে আসার ফলে পৃথিবীর ঘূর্ণনের চক্রগতির ব্যাসার্ধ বৃদ্ধি পায় অথবা জ্যাভ্রামক বৃদ্ধি পায়। কৌণিক ভরবেগ সংরক্ষিত থাকে বলে, জ্যাভ্রামক বৃদ্ধির ফলে পৃথিবীর কৌণিক গতিবেগ ω হ্রাস পায়। কিন্তু দিনের

দৈর্ঘ্য $T = \frac{2\pi}{\omega}$; ফলে T বৃদ্ধি পাবে—অর্থাৎ দিনের দৈর্ঘ্য বৃদ্ধি পাবে।

14. বাইসাইকেলের চাকায় স্পোক (spoke) লাগানো থাকে কেন ?

● চাকায় স্পোক লাগালে চাকার জ্যাভ্রামক বৃদ্ধি পায় অথচ চাকার ভর বিশেষ বৃদ্ধি পায় না কারণ স্পোকগুলি খুব হালকা। চাকার জ্যাভ্রামক বৃদ্ধি পাওয়ায় সাইকেলের গতি মসৃণ হয়।

15. কৌণিক ভরবেগ সংরক্ষিত আছে এরূপ একটি সংস্থার জ্যাভ্রামক বৃদ্ধি করা হল। এতে সংস্থার আবর্ত গতিশক্তি কি সংরক্ষিত থাকবে ?

● সংস্থার জ্যাভ্রামক I এবং কৌণিক গতিবেগ ω হলে, তার আবর্ত গতিশক্তি $E_k = \frac{1}{2}I\omega^2$

এখন, কৌণিক ভরবেগ সংরক্ষিত থাকায় $I\omega = k$ (ধ্রুবক)

$\therefore E_k = \frac{1}{2}.k.\omega$ অথবা, $E_k \propto \omega$.

এখানে জ্যাভ্রামক বৃদ্ধি করা হলে, ভরবেগ সংরক্ষণ সূত্র অনুযায়ী কৌণিক গতিবেগ ω হ্রাস পাবে। তাতে, E_k হ্রাস পাবে। ফলে, আবর্তগতিশক্তি সংরক্ষিত থাকবে না।

16. বস্তুর রৈখিক গতিবেগ হ্রাসবৃদ্ধি করার চেষ্টা করলে গতিজ্যাভ্রা ঐ প্রচেষ্টাকে বাধা দেয়। বস্তুর বৃত্তীয় গতিবেগ হ্রাসবৃদ্ধি করার চেষ্টা করলে কোন্ জ্যাভ্রা তাকে বাধা দেবে ? এই দুই জ্যাভ্রা কি এক ?

● বস্তুর বৃত্তীয় গতিবেগ বৃদ্ধি বা হ্রাস করার চেষ্টা করলে বস্তুর জ্যাভ্রামক ঐ প্রচেষ্টাকে বাধা দেয়। এই দুই জ্যাভ্রা এক নয়। বস্তুর জ্যাভ্রা বস্তুর ভরের সমানুপাতিক। ভর বাড়লে জ্যাভ্রা বাড়ে ; আবার

ভর কমলে জাডা কমে। কিন্তু জাডা-ভ্রামক শূন্য ভর নয় ; ভরের বন্টনের উপর নির্ভর করে এবং ঘূর্ণাক্ষের অবস্থানের উপর নির্ভর করে।

17. A এবং B দুটি গোল চাকতির বেধ ও ভর সমান কিন্তু তাদের উপাদান ভিন্ন। উপাদানের ঘনত্ব ρ_A এবং ρ_B ($\rho_A > \rho_B$)। চাকতি দুটির কেন্দ্রগত ও তাদের তলের অভিলম্ব দুই অক্ষের সাপেক্ষে তাদের জাডা ভ্রামক যথাক্রমে I_A এবং I_B । কোনটি বেশি ?

● $m_A = m_B$ অথবা $\pi r_A^2 x \rho_A = \pi r_B^2 x \rho_B$ [x = বেধ]

$$\therefore \frac{r_A^2}{r_B^2} = \frac{\rho_B}{\rho_A}; \text{এখন, } \frac{I_A}{I_B} = \frac{\frac{1}{2} m_A r_A^2}{\frac{1}{2} m_B r_B^2} = \frac{\rho_B}{\rho_A}$$

কিন্তু দেওয়া আছে $\rho_A > \rho_B$; অতএব, $I_B > I_A$ ।

* প্রশ্নাবলি *

→ রচনামূলক প্রশ্ন

- (a) কৌণিক বেগ, কৌণিক ত্বরণ, কৌণিক ভরবেগ ও টর্কের সংজ্ঞা লেখো। টর্ক ও কৌণিক ত্বরণের মধ্যে সম্পর্ক নির্ণয় করো।
(b) নিম্নলিখিত রাশিগুলির মধ্যে সম্পর্ক নির্ধারণ করো : (i) কৌণিক ও রৈখিক গতিবেগ (ii) কৌণিক ও রৈখিক ত্বরণ। (iii) কৌণিক ত্বরণ ও টর্ক এবং (iv) কৌণিক ভরবেগ ও টর্ক।
- কৌণিক ভরবেগ সংরক্ষণ সূত্র বিবৃত করো। এর সমর্থনে একটি পরীক্ষা বর্ণনা করো। কৌণিক ভরবেগ স্কেলার না ভেক্টর।
- অভিকেন্দ্র ও অপকেন্দ্র বল বলতে কী বোঝা ব্যাখ্যা করো। অভিকেন্দ্র বলের একটি রাশিমালা নির্ধারণ করো। অভিকেন্দ্র বলকে ‘বাস্তব বল’ এবং অপকেন্দ্র বলকে ‘অলীক বল’ আখ্যা দেওয়া হয় কেন?
- যখন কোনো বস্তু সমবেগে বৃত্তপথে পরিভ্রমণ করে, তখন যে-সকল বল ক্রিয়া করে, তাদের সম্বন্ধে সংক্ষেপে আলোচনা করো। সেই সকল বলের রাশিমালা নির্ণয় করো। দৈনন্দিন জীবনের কতকগুলি উদাহরণ নিয়ে এই বলের অস্তিত্ব প্রমাণের স্বপক্ষে যুক্তি দেখাও।
- দ্রুতগতিতে বাক নেবার সময় কোন সাইকেল আরোহী নিজের ভারসাম্য বজায় রাখার জন্য বাকের দিকে নিজের দেহ হেলিয়ে দেয়। কেন? গতিবেগ, নতি কোণ ও বৃত্তের ব্যাসার্ধের ভিতর সম্পর্ক স্থাপন করো।
- l দৈর্ঘ্যের একটি সুতার প্রান্তে আবদ্ধ একটি বস্তু বাধাহীনভাবে ঝুলছে। প্রমাণ করো যে সম্পূর্ণ উল্লম্ব বৃত্ত পরিক্রমা করতে বস্তুকে যে ন্যূনতম অনুভূমিক বেগ V দিতে হবে তা $\sqrt{5gl}$ -এর সমান। ‘ g ’ অভিকর্ষজ ত্বরণ। আরও প্রমাণ করো যে ঐ অবস্থায় বৃত্তের সর্বনিম্ন বিন্দুতে সুতার ন্যূনতম টান বৃত্তের ওজনের ছয়গুণ হবে।
- M ভরবিশিষ্ট একটি পাথর সুতায় ঝাঁধা অবস্থায় R ব্যাসার্ধের উল্লম্বতলে ঘূর্ণিত হচ্ছে। দেখাও যে সর্বোচ্চ অবস্থানে সুতোটি শিথিল হবে না যদি ঐ অবস্থানে পাথরটির বেগ \sqrt{gr} অপেক্ষা বেশি হয়।
- প্রমাণ করো যে, একটি উত্তল সেতুর উপর দিয়ে যাবার সময় কোনো মোটরগাড়ির ওজন সেতুর উপর প্রিতর অবস্থায় থাকাকালীন ওজন অপেক্ষা কম।

→ সংক্ষিপ্ত উত্তরের প্রশ্ন

- র্যাডিয়ান কী? কোণের র্যাডিয়ান পরিমাপ প্রত্যেক পদ্ধতিতেই সুবিধাজনক কেন?
- বস্তুকণা r ব্যাসার্ধের বৃত্তপথে ω কৌণিক বেগ নিয়ে ঘুরছে। তার রৈখিক বেগ, রৈখিক ত্বরণ ও কৌণিক ভরবেগের মান লেখো। একটি চিত্রে এদের অভিমুখ দেখাও।
- একটি চক্রের কেন্দ্রগত এবং তার তলের অভিলম্বভাবে গত এক অক্ষের চতুর্দিকে একটি চক্র ঘুরছে। চক্রের পরিধির উপর একটি কণা কল্পনা করো। যখন চক্রটি সমকৌণিক বেগে ঘুরছে তখন কণায় কি কোনো ব্যাসার্ধমুখী ত্বরণ আছে? চক্রটি সমকৌণিক ত্বরণে ঘুরলে ঐ বিন্দুর কি কোনো ব্যাসার্ধমুখী ত্বরণ বা কোনো স্পর্শকীয় ত্বরণ থাকে?
- কোনো অক্ষ বেড়ে বাধাহীনভাবে ঘূর্ণনক্ষম দৃঢ়বস্তুর উপর টর্ক প্রয়োগ করলে ঐ বস্তুর যে কৌণিক ত্বরণ সৃষ্টি হয় তা

যে শুধু বস্তুর সাইজ এবং আকারের উপর নির্ভর করে, তা নয়, এ অক্ষের সাপেক্ষে বস্তুর ভর-বন্টনের উপর নির্ভর করে। ব্যাখ্যা করো।

5. একটি গোল মসৃণ চাকতির উপর একটি মসৃণ পিংপং বল রাখা আছে। চাকতি ঘুরতে আরম্ভ করলে বলটি চাকতি হতে পড়ে যায় কেন?
6. কোন সাইকেল আরোহী ঝাঁক নেবার সময় উল্লম্বের সঙ্গে 45° কোণে আনত অবস্থায় ঝাঁক নিতে পারে কি?
7. এক ব্যক্তি একটি ঘূর্ণায়মান টেবিলের উপর দাঁড়িয়ে আছে। সে দুই হাতে সমভরের দুটি বস্তু নিয়ে হাত ছড়িয়ে দাঁড়িয়ে আছে। হাত না নাড়িয়ে সে হাত হতে বস্তু দুটি ফেলে দিল। তার কৌণিক গতিবেগের কোন পরিবর্তন হবে কি?
8. উঁচু স্থান হতে জলে ডাইভ দেবার সময় শরীর বেশি ঝাঁকিয়ে নিলে জল স্পর্শ করার পূর্বে বেশিবার ডিগবাজি (somersaults) খাওয়া যায় কেন?
9. যাত্রীপূর্ণ বাস সহসা ঝাঁক নিলে, যাত্রীরা বিপরীত দিকে ঝুঁকে পড়ে। বাসের যাত্রী এবং রাস্তায় দণ্ডায়মান এক ব্যক্তি তা কীরূপে ব্যাখ্যা করবে?
10. নিম্নলিখিত প্রশ্নগুলির উত্তর দাও : (i) অলীক বল বলতে কী বোঝ? অপকেন্দ্র বলকে অলীক বল বলা হয় কেন? (ii) পৃথিবীর আঁহিক গতি কীভাবে পার্থিব বস্তুর ওজনকে প্রভাবিত করে?
11. যে সকল ঘূর্ণায়মান যন্ত্রপাতির অংশ এই যন্ত্রের বহিরাংশকে ঘূর্ণাক্ষের সাথে যুক্ত রাখে তাদের ক্ষেত্রে কৌণিক বেগের একটি সর্বোচ্চ সীমা বেছে দেওয়া হয় কেন?
12. একটি ছোটো চেনকে (chain) খুব জোরে ঘুরিয়ে মেঝের উপর ছেড়ে দিলে তা চাকার মতো গড়িয়ে যায়। কেন?
13. সুতোয় ঝাঁধা একটি পাথরখণ্ডকে উল্লম্ব বৃত্তপথে ঘোরানো হচ্ছে। বস্তুর কোণ বিন্দুতে সুতোয় টান (i) সর্বোচ্চ এবং (ii) সর্বনিম্ন?

→ অতি সংক্ষিপ্ত উত্তরের প্রশ্ন

1. নিম্নলিখিতক্ষেত্রে যে ধরনের বল অভিকেন্দ্র বল উৎপন্ন করে তার নাম উল্লেখ কর :
(a) পৃথিবী প্রদক্ষিণরত একটি কৃত্রিম উপগ্রহ (b) বক্রপথে রেল লাইনের ব্যাংকিং (c) সুতোয় ঝাঁধা ঢিলের অনুভূমিক তলে আবর্তন (d) পরমাণুর ইলেকট্রনের আবর্তন।
2. একটি ঘুরন্ত টেবিলের উপর এক ব্যক্তি তার দুই বাহু ছড়িয়ে দিয়ে দাঁড়িয়ে আছে। এই ব্যক্তির তার দুই বাহু বৃকের কাছে গুটিয়ে আনলে কি হবে?
3. সুঘন বৃত্ত গতি বজায় রাখতে হলে বস্তুর উপর সর্বদা বস্তুর কেন্দ্রভিমুখী একটি বল প্রয়োগ করতে হয়। এই বলকে কি বলা হয়?
4. দুধ না ফেলে দুধ ভর্তি বালতিকে উল্লম্ব বৃত্তপথে ঘোরানো যাবে কি?
5. অপকেন্দ্র বল এবং অপকেন্দ্র প্রতিক্রিয়া কি একই?
6. বস্তুর ভর, দ্রুতি এবং বৃত্তপথের ব্যাসার্ধের মান ব্যবহার করে অভিকেন্দ্র বলের মান প্রকাশ করো।
7. কৌণিক বেগ বলতে কি বোঝ? টর্ক ও কৌণিক ভরবেগের মধ্যে অবকল ভেক্টর সমীকরণটি লেখো।

[Jt. Entrance 2005]

8. টর্কের মাত্রা লেখো।

[Jt. Entrance 2005]

9. রৈখিক বেগের মত কৌণিক বেগও কি ভেক্টর রাশি? যদি হয়, তবে এর দিক কিভাবে নির্ণয় করা যায়?
10. দ্বন্দ্ব কাকে বলে? দ্বন্দ্বের ভ্রামকের মান ও দিক কিভাবে নির্দেশ করা হয়?
11. একটি কণা স্থির দ্রুতি $u \text{ cm/s}$ নিয়ে r ব্যাসার্ধের বৃত্তপথে ঘুরছে। তার কৌণিক বেগ কত?
12. জ্যাড্রামক কি স্কেলার না ভেক্টর?
13. ঘড়ির ঘণ্টার কাঁটার বৃত্তগতির কৌণিক বেগ পৃথিবীর নিজ অক্ষের চতুর্দিকে বৃত্তগতির কৌণিক বেগ অপেক্ষা বেশি না কম?

[সংক্ষেপ : ঘণ্টার কাঁটা 12 ঘণ্টার একবার বৃত্তপথ ঘোরে কিন্তু পৃথিবী একবার বৃত্তপথ ঘোরে 24 ঘণ্টায় অতএব ঘণ্টার কাঁটার কৌণিক বেগ পৃথিবীর কৌণিক বেগের দ্বিগুণ]

14. অভিকেন্দ্র বলকে কার্যহীন বল বলা হয় কেন?

→ বহুমুখী পছন্দের প্রশ্ন [Multiple Choice type (MCQ)]

- নির্ভুল উত্তরটি \checkmark চিহ্নিত করো :

[i] m ভরের একটি কণা সমতলে r ব্যাসার্ধের বৃত্তপথে ঘুরছে। কণার কৌণিক ভরবেগ $= L$; কণার উপর

ক্রিয়ারত অভিকেন্দ্র বল

- (A) $\frac{L}{mr^2}$ (B) $\frac{L^2}{m^2 r^2}$ (C) $\frac{L^2}{mr}$ (D) $\frac{L^2}{mr^3}$

[ii] সমতলের উপর M ভরের এবং R ব্যাসার্ধের একটি চাকতি ω কৌণিক বেগে গড়িয়ে যাচ্ছে। মূলবিন্দু O সাপেক্ষে চাকতির কৌণিক ভরবেগ

- (A) $\frac{1}{2} MR^2 \omega$ (B) $MR^2 \omega$ (C) $\frac{3}{2} MR^2 \omega$ (D) $2MR^2 \omega$

[iii] কোনো এক বিন্দু সাপেক্ষে একটি বস্তুর উপর ক্রিয়ারত টর্ক $\vec{\tau} = \vec{A} \times \vec{L}$ যেখানে \vec{A} একটি স্থিরমানের ভেক্টর এবং $L=0$ বিন্দু সাপেক্ষে বস্তুর কৌণিক ভরবেগ। এথেকে সিদ্ধান্ত করা যায়

(A) সর্বদা $\frac{dL}{dt}$ এবং \vec{L} পরস্পরের লম্ব

(B) \vec{A} ভেক্টরের অভিমুখে \vec{L} -এর উপাংশ সময়ের সাপেক্ষে অপরিবর্তিত থাকে

(C) \vec{L} -এর মান সময়ের সাপেক্ষে অপরিবর্তিত থাকে

(D) \vec{L} সময়ের সাপেক্ষে পরিবর্তন করে না।

[iv] m ভরের একটি কণা স্থির ব্যাসার্ধ r এর বৃত্তপথে এরূপভাবে আবর্তন করছে যে তার অভিকেন্দ্র ত্বরণ a_r সময় t এর সাথে $a_r = k^2 r t^2$ সমীকরণ অনুযায়ী পরিবর্তিত হচ্ছে। k একটি ধ্রুবসংখ্যা। কণার উপর ক্রিয়ারত বল যে ক্ষমতা প্রয়োগ করছে তা

- (A) $2m\pi k^2 r^2 t$ (B) $km^2 r^2 t$ (C) $\frac{1}{3} mk^4 r^2 t^5$ (D) শূন্য।

[Hints : $a_r = k^2 r t^2$; $\frac{v^2}{r} = k^2 r t^2$ অথবা $v = k.r.t$; $\therefore \frac{dv}{dt} = kr$.

ক্রিয়ারত বল $F = m \cdot \frac{dv}{dt} = mkr$; \therefore ক্ষমতা $= F.v = mkr \times k.r.t = mk^2 r^2 t$

[v] m ভরের একটি পাথরখণ্ডকে সুতোয় বেঁধে অনুভূমিক বৃত্তপথে ঘোরানো হচ্ছে। সুতোর দৈর্ঘ্য আস্তে আস্তে কমানো হচ্ছে যাতে বৃত্তের কেন্দ্রবিন্দু সাপেক্ষে কণার কৌণিক ভরবেগ একই থাকে। এক্ষেত্রে সুতোর টান $T = A.r^n$ যেখানে A একটি ধ্রুবসংখ্যা এবং r বৃত্তের তাৎক্ষণিক ব্যাসার্ধ। n -এর মান হবে

- (A) -3 (B) -2 (C) $-\frac{1}{2}$ (D) $-\frac{1}{3}$

[vi] m ভরের একটি বৃত্তকণাকে অনুভূমিকের সঙ্গে 45° কোণ করে V গতিবেগ দিয়ে নিক্ষেপ করা হল। কণাটি যখন গতিপথের সর্বোচ্চ বিন্দুতে উপস্থিত হবে তখন প্রক্ষেপ বিন্দুর সাপেক্ষে কণার কৌণিক ভরবেগের মান হবে

- (A) শূন্য (B) $\frac{1}{4\sqrt{2}} \cdot \frac{m.v^3}{g}$ (C) $\frac{1}{\sqrt{2}} \frac{mv^3}{g}$ (D) $m\sqrt{2gh^3}$

[vii] m_1 এবং m_2 ভরের দুটি গাড়ি যথাক্রমে r_1 এবং r_2 ব্যাসার্ধের বৃত্তপথে ঘুরছে। একবার সম্পূর্ণ বৃত্তপথ ঘুরে আসতে যদি তাদের একই সময় লাগে, তবে তাদের কৌণিক গতিবেগের অনুপাত হবে,

- (A) $\frac{m_1}{m_2}$ (B) $\frac{r_1}{r_2}$ (C) $\frac{m_1 r_1}{m_2 r_2}$ (D) 1

[viii] সুতোয় বাঁধা একখণ্ড পাথরকে বৃত্তপথে ঘোরানো হচ্ছে। সুতো ছিঁড়ে গেলে পাথরখণ্ডটি

- (A) বৃত্তের কেন্দ্রের দিকে ছুটে যাবে (B) বৃত্তের কেন্দ্রের বর্হিমুখী ছুটে যাবে
(C) বৃত্তের স্পর্শক বরাবর ছুটে যাবে (D) থেমে যাবে।

[ix] একটি ঘূর্ণি টেবিলের উপর একটি ছোটো মুদ্রা রাখা আছে। মুদ্রাটিকে টেবিলের কেন্দ্র থেকে 4 cm দূরে রাখলে, মুদ্রাটি পিছলাতে শুরু করে। ঘূর্ণি টেবিলের কৌণিক গতিবেগ দ্বিগুণ করলে, মুদ্রাকে কত দূরে রাখলে

সেটা সদ্য পিছলাতে শুরু করবে ?

- (A) 1 cm (B) 2 cm (C) 4 cm (D) 8 cm.

[xi] R ব্যাসার্ধের একটি ওভারব্রীজ দিয়ে একটি মোটর সাইকেল যাচ্ছে। সাইকেল ওভারব্রীজের উপর উঠতে থাকলে, তার উপর অভিলম্ব বল (normal force)

- (A) বৃদ্ধি পাবে (B) হ্রাস পাবে (C) একই থাকবে (D) কখনও বৃদ্ধি পাবে, কখনও হ্রাস পাবে।

[xii] উল্লম্ব তলে দুলছে এবুপ একটি সরল দোলকের কৌণিক সরণ θ । দোলক পিণ্ডের ভর m হলে সুতায় টান $mg \cos \theta$

- (A) সর্বদা $mg \cos \theta$ (B) কখনই না
(C) বিভ্রারের শেষ প্রান্তে $mg \cos \theta$ (D) গতিপথের মধ্য অবস্থানে।

[xiii] একটি বস্তুকণা বক্রপথে গতিশীল। গতির সময় তার নিম্নলিখিত রাশিগুলি স্থির থাকতে পারে

- (A) দ্রুতি (B) গতিবেগ (C) ত্বরণ (D) ত্বরণের মান।

[xiv] নিম্নলিখিত মাত্রাসূত্রগুলির কোনটি টর্কের মাত্রা ?

- (A) MLT^{-2} (B) $ML^{-1}T^{-2}$ (C) $M^{-1}L^2T^{-2}$ (D) ML^2T^{-2}

[xv] দৃঢ় বস্তুর উপর একটি বিন্দু ঘূর্ণাক্ষ থেকে 5 cm দূরে অবস্থান করে 10 rad/s বেগে ঘুরছে। ঘূর্ণাক্ষ থেকে 10 cm দূরে একই বস্তুর উপর আর একটি বিন্দুর Q -এর বেগ হবে

- (A) 2 rad/s (B) 20 rad/s (C) 15 rad/s (D) 10 rad/s.

[xvi] 2 kg ভরের একটি বস্তু 2 m ব্যাসার্ধের বৃত্তপথে 10 r.p.m বেগে আবর্তন করছে। বস্তুর উপর ক্রিয়ারত অভিকেন্দ্র বল

- (A) 4.38N (B) 503N (C) 50N (D) 5N

[xvii] দড়িতে বাঁধা একটি পাথরখণ্ড একটি উল্লম্ব বৃত্তপথে ঘুরছে। যখন পাথরখণ্ড বৃত্তপথের সর্বনিম্ন বিন্দু অতিক্রম করছে তখন সুতায় টান

- (A) সর্বনিম্ন (B) সর্বাধিক (C) সর্বনিম্নও না সর্বাধিকও না (D) শূন্য।

[xviii] একটি বস্তুকণা r ব্যাসার্ধের উল্লম্ব বৃত্তপথ ঠিক সম্পূর্ণ ঘুরে আসে। বৃত্তপথের শীর্ষবিন্দুতে তার গতিবেগ

- (A) $\sqrt{5gr}$ (B) $\sqrt{2gr}$ (C) \sqrt{gr} (D) কোনোটিই নয়।

[xix] নিম্নলিখিত যুগ্ম রাশিগুলি মধ্যে একটার রাশি দুটির মাত্রা সমান। সেটি কোনটি ?

- (A) টর্ক এবং কার্য (B) কৌণিক ভ্রামক এবং কার্য
(C) শক্তি ও জ্যাভ্রামক (D) ক্ষমতা ও চক্রগতির ব্যাসার্ধ।

[xx] একটি স্থির টর্ক 500 Nm একটি চক্রে কেন্দ্রগত অক্ষ সাপেক্ষে আবর্তন করছে। ওই অক্ষ সাপেক্ষে চক্রের জ্যাভ্রামক 100 kgm²। 2 সেকেন্ড সময় চক্রের কৌণিক বেগ যতটা বৃদ্ধি পাবে তা

- (A) 1 rad/s (B) 4 rad/s (C) 6 rad/s (D) 10 rad/s.

[xxi] সমতলে থেকে কোনো এক বিন্দুর চতুর্দিকে বস্তু আবর্তন করলে, তার কৌণিক ভরবেগের অভিমুখ হবে

- (A) ব্যাসার্ধ বরাবর (B) বৃত্তপথের স্পর্শক বরাবর (C) আবর্তন তলের সঙ্গে 45° কোণে আনত সরল রেখা বরাবর (D) ঘূর্ণাক্ষ বরাবর।

[xxii] r ব্যাসার্ধের একটি বক্রপথে ω গতিবেগের জন্য ব্যক্তিগ করা আছে। W ওজনের একটি গাড়ি ওই চক্রপথ বরাবর ω গতিবেগে চলে গেলে, রাস্তার অভিলম্ব প্রতিক্রিয়া হয় N ; এক্ষেত্রে

- (A) অভিকেন্দ্র বল হবে W এবং N এর লম্বি (B) অভিলম্ব প্রতিক্রিয়া হবে W (C) অভিকেন্দ্র বল হবে শূন্য (D) অভিকেন্দ্র বল হবে W ।

[xxiii] দড়িতে বাঁধা একটি পাথরখণ্ড উল্লম্ব বৃত্তপথে ঘুরছে। দড়িতে সর্বাধিক এবং সর্বনিম্ন টানের পার্থক্য 3 kgwt হলে, পাথরখণ্ডের ভর

- (A) 0.25 kg (B) 0.50 kg (C) 2.0 kg (D) 3.0 kg.

[xxiv] স্থির কৌণিক ত্বরণে ঘূর্ণায়মান একটি বস্তুকণার কৌণিক সরণ $\theta = 14t + 4t^2$; θ রেডিয়ান এককে এবং t সেকেন্ডে পরিমাপ করা হয়েছে। কণার কৌণিক ত্বরণ

- (A) 14 rad/s² (B) 4 rad/s² (C) 2 rad/s² (D) 8 rad/s².

[xxv] একটি নিরেট গোলক টেবিলের উপর দিয়ে গড়িয়ে যাচ্ছে। গোলকের আবর্ত গতিশক্তি ও মোট গতিশক্তির অনুপাত

- (A) $\frac{7}{10}$ (B) $\frac{2}{7}$ (C) $\frac{1}{2}$ (D) $\frac{1}{5}$.

[xxv] m ভরের একটি বস্তুকণা ω কৌণিক বেগসহ r ব্যাসার্ধের বৃত্তপথ পরিক্রমা করছে। তার কৌণিক ভরবেগ

- (A) $m r \omega^2$ (B) $m r \omega$ (C) $m^2 \omega$ (D) $\frac{1}{2} m r^2 \omega$

[xxvi] একটি বস্তুকণা কোনো অক্ষ সাপেক্ষে সমকৌণিক বেগে ঘুরতে থাকলে বস্তুকণার

- (A) বেগ ও ত্বরণ ধ্রুবক হবে (B) দ্রুতি ও ত্বরণ ধ্রুবক কিন্তু বেগ ধ্রুবক নয় (C) বেগ ও ত্বরণ ধ্রুবক নয় কিন্তু দ্রুতি ধ্রুবক (D) ত্বরণ ও দ্রুতি ধ্রুবক।

[xxvii] একটি সরল দোলক $x-y$ তলে দুলতে থাকলে দোলকের (চিত্র 1.34) কৌণিক ভরবেগ

- (A) x -অক্ষের দিকে (B) y - অক্ষের দিকে (C) z -অক্ষের দিকে (D) u -এর দিকে।

[xxviii] একটি বস্তুকণা x -অক্ষের সমান্তরালে স্থির বেগে চলছে। মূলবিন্দু সাপেক্ষে কণার কৌণিক বেগ

- (A) শূন্য (B) স্থির (C) ক্রমশ বৃদ্ধি পায় (D) ক্রমশ হ্রাস পায়।

[xxix] একটি ঘূর্ণায়মান বস্তুর উপর অপকেন্দ্র বল উৎপন্ন হওয়ার জন্য দায়ী

- (A) কেবলমাত্র বস্তুর ঘূর্ণন গতি (B) নির্দেশতন্ত্রের চলন
(C) পৃথিবী ও বস্তুর মধ্যে মহাকর্ষীয় আকর্ষণ (D) নির্দেশতন্ত্রের ঘূর্ণন।

[A.I.E.E. Exam. 2006]

[xxx] একটি কণা সুযম বৃত্তীয় গতিতে আছে। নিম্নলিখিতদের মধ্যে কোনটি অসত্য?

- (A) কণাটির বেগ ধ্রুবক,
(B) কণাটির কৌণিক দ্রুতি ধ্রুবক,
(C) কণাটির ত্বরণ বৃত্তের কেন্দ্র অভিমুখে ক্রিয়া করে,
(D) কণাটির গতিবেগ এবং ত্বরণ পরস্পরের সাথে লম্ব।

[Jt. Entrance 2006]

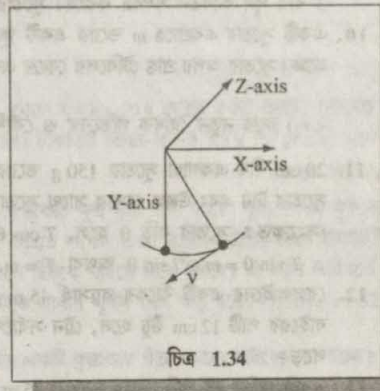
(xxxi) m ভর এবং R ব্যাসার্ধবিশিষ্ট একটি সরু গোলাকার রিং তার অক্ষ সাপেক্ষে ω স্থির কৌণিক বেগে আবর্তন করছে। রিং ব্যাসের দুই প্রান্তে M ভরের দুটি বস্তু আন্তে রিংয়ের সাথে যুক্ত করা হল। রিংয়ের বর্তমান কৌণিক বেগ ω' হবে

- (A) $\frac{\omega(m-2M)}{m+2M}$ (B) $\frac{\omega m}{m+M}$ (C) $\frac{\omega m}{m+2M}$ (D) $\frac{\omega(m+2M)}{m}$

সহজ গাণিতিক প্রশ্ন

- একটি ঢিলকে 200 cm দীর্ঘ সুতোয় বেঁধে 10 সেকেন্ডে 50 বার বৃত্তপথ পরিক্রমণ করানো হচ্ছে। ঢিলটির কৌণিক বেগ এবং রৈখিক দ্রুতি নির্ণয় করো। [Ans. 31.4 রেডিয়ান/সেকেন্ড; 62.8 m/s]
- একটি গাড়ি 108 m ব্যাসার্ধের বৃত্তপথে 48 km/h গতিবেগে ঘুরে গেল। তার কৌণিক বেগ কত? [Ans. 0.123 rad/s]
- বড় দেওয়াল ঘড়ির মিনিটের কাঁটা 50 cm দীর্ঘ। তার রৈখিক দ্রুতি কত? [Ans. 0.087 cm/s]
- একটি মোটর গাড়ির ইঞ্জিন 150 r.p.m. স্থির বেগে আবর্তন করছে। হঠাৎ ত্বরণ পেয়ে তা 3 সেকেন্ডে 3000 r.p.m. বেগ লাভ করল। ইঞ্জিনের কৌণিক ত্বরণ কত? 2 সেকেন্ড পরে তার কৌণিক বেগ কত হবে? 3 সেকেন্ডে তা মোট কত কোণ আবর্তন করবে? [Ans. (i) 99.5 rad/s², (ii) 215 rad/s, (iii) 495 rad]
- নিজ অক্ষের চতুর্দিকে আবর্তনশীল একটি ভারীচক্রের আবর্তন ঘর্ষণের জন্য ধীরে ধীরে হ্রাস পাচ্ছে। প্রথম মিনিটের শেষে তার কৌণিক গতিবেগ প্রাথমিক গতিবেগের (ω_0) 0.9 গুণ হল। ঘর্ষণ বল স্থির মানের হলে, দ্বিতীয় মিনিটের শেষে তার কৌণিক গতিবেগ কত হবে? [Ans. 0.8 ω_0 rad/min]
- পৃথিবী ও সূর্যের ভিতর দূরত্ব বর্তমান দূরত্বের ত্রিগুণ হলে 1 বৎসরের দৈর্ঘ্য কত হবে? [Ans. 1032 দিন]
- 6.3×10^{-22} g ভরবিশিষ্ট একটি পরমাণু 4×10^{-8} cm ব্যাসার্ধের বৃত্তপথে 6×10^{10} r.p.m. বেগে পরিক্রমণ করছে। তার কৌণিক ভরবেগ কত? [Ans. 6.33×10^{-27} unit]

[সংকেত : কৌণিক ভরবেগ = $m r^2 \omega$]



8. সুতোয় বাঁধা একটি ঢিলকে সমদ্রুতিতে অনুভূমিক তলে চক্রাকারে ঘোরানো হচ্ছে। বৃত্তের ব্যাসার্ধ 40 cm এবং ঢিলের দ্রুতি 160 cm/s হলে, ব্যাসার্ধমুখী ত্বরণের মান নির্ণয় করো। [Ans. 6.4 m/s²]
9. 2 g ভরের বস্তুকে 100 cm দীর্ঘ সুতোর সাহায্যে অনুভূমিক বৃত্তাকার পথে আবর্তন করানো হচ্ছে এবং 1.2 s সময়ে 3 বার পূর্ণ আবর্তন সম্পন্ন করেছে। সুতোর টান নির্ণয় করো। $g = 980 \text{ cm/s}^2$ [Ans. 50.4 g-wt (প্রায়)]
10. একটি সুতোর একপ্রান্তে m ভরের একটি ক্ষুদ্র বস্তুকে বেঁধে r_1 ব্যাসার্ধের অনুভূমিক বৃত্ত বরাবর v_1 বেগে ঘোরানো হচ্ছে। সুতোর অপর প্রান্ত টেবিলের কেন্দ্রে একটি ছিদ্র দিয়ে ঝুলে আছে। এখন সুতো টেনে বৃত্তের ব্যাসার্ধ r_2 করলে ($r_1 < r_2$) বস্তুর নতুন রৈখিক গতিবেগ ও কৌণিক গতিবেগ কী হবে? [Ans. $\frac{v_1 r_1}{r_2}$; $\omega_1 \left(\frac{r_1}{r_2} \right)^2$]
11. 20 cm দীর্ঘ একগাছা সুতোয় 150 g ভরের বস্তু বেঁধে একটি পিনের চারদিকে মিনিটে 120 বার ঘোরানো হচ্ছে। সুতোর টান এবং উল্লম্ব রেখার সাথে সুতোর নতি কত? [Ans. $4.73 \times 10^5 \text{ dyne}$; $71^\circ 56'$]
[সংকেত : সুতোর নতি θ হলে, $T \cos \theta = mg$ এবং $T \sin \theta =$ অভিকেন্দ্র বল $= m \omega^2 r$; কিন্তু $r = l \sin \theta$
 $\therefore T \sin \theta = m \omega^2 l \sin \theta$ অথবা $T = m \omega^2 l$; আবার $\cos \theta = g/\omega^2 l$ । এস্থলে, $\omega = 2\pi n = 2\pi \times (120/60)$]
12. রেললাইনের একটি বাঁকের ব্যাসার্ধ 45 m; লাইনের দুই পাটির ভিতরকার দূরত্ব 1.5 m, ভিতরের পাটি অপেক্ষা বাইরের পাটি 12 cm উঁচু হলে, ট্রেন সর্বাপেক্ষা কত বেশি বেগে ঐ বাঁক নিতে পারবে যাতে কোনো পার্শ্ব চাপ না পড়ে? [Ans. 5.94 m/s]
13. একটি গাড়ির দুই পাটি চাকার দূরত্ব 1.35 m এবং ভূমি হতে তার ভারকেন্দ্রে উচ্চতা 45 cm; 60 m ব্যাসার্ধের একটি সমতল বৃত্তপথে গাড়িটি বাঁক নেবে। গাড়িটির সর্বোচ্চ বেগ কত হবে? [Ans. 14 m/s]
14. একটি বালতি দুধ হাতে করে উল্লম্ব তলে 66 cm ব্যাসার্ধের বৃত্তপথে ঘোরানো হচ্ছে। সর্বনিম্ন কত দ্রুতিতে ঘোরালে উপুড় হওয়া সত্ত্বেও দুধ পড়ে যাবে না? $g = 980 \text{ cm/s}^2$ [Ans. 2.54 m/s (প্রায়)]
(সংকেত : $\frac{v^2}{r} = g$)
15. 2600 kg ভরের মোটরগাড়ি 100 km/h বেগে চলতে চলতে 150 metre ব্যাসার্ধের একটি বাঁক নেবে। রাস্তার ব্যাংকিং কোণ কত হবে যাতে গাড়িটি পিছলিয়ে না যায়? এক্ষেত্রে রাস্তা ও টায়ারের ঘর্ষণগুণাঙ্ক কত কম হওয়া চলবে? [Ans. 27.7° ; 0.52]
16. একজন সাইকেল আরোহী 5 metre/s বেগে চলে 2 metre ব্যাসার্ধের বাঁক নিচ্ছে। আরোহীর ভর 50 kg হলে, তার উপর অভিকেন্দ্র বল কত? এটা আরোহীর ওজনের কত গুণ? [Ans. 625 N; 1.27 গুণ]
17. এক সাইকেল আরোহী 18 km/h বেগে 20 মিটার ব্যাসার্ধের বৃত্তাকার পথে চলছে। উল্লম্বের সাথে তার নতির পরিমাণ কী? মনে করো আরোহী সমেত সাইকেলটি সমতলে আছে। [Ans. $7^\circ 16'$]
18. একটি সাইকেল আরোহী R ব্যাসার্ধের বৃত্তপথে V দ্রুতিতে সাইকেল চালিয়ে ভূমির সাথে θ কোণে হেলে পড়ে। দেখাও যে $\tan \theta = \frac{gR}{V^2}$; $g =$ অভিকর্ষজ ত্বরণ।
19. একটি কৃত্রিম উপগ্রহ পৃথিবীর খুব নিকট দিয়ে বৃত্তপথে পরিভ্রমণ করছে। 90 মিনিটে তা একবার ঘুরে এলে, তার ত্বরণ কত? পৃথিবীর ব্যাসার্ধ 6.4×10^3 কিলোমিটার। [Ans. 8.66 m/s²]
20. অনুভূমিক নাগরদোলার কেন্দ্র হতে 4.5 m দূরে একটি বালক বসে আছে। নাগরদোলা ঘুরতে আরম্ভ করলে যখন বেগ 10 r.p.m. ছাড়াল ঠিক তখন বালকটি পিছলে পড়ল। বালক ও নাগরদোলার ভিতর ঘর্ষণগুণাঙ্ক কত? $g = 9.8 \text{ m/s}^2$ [Ans. 0.50]
21. একটি বিমান 720 km/h গতিবেগ নিয়ে অনুভূমিক বৃত্তপথে চক্রাকারে ঘুরছে। বিমানের ডানার ব্যাংকিং কোণ 15° হলে, বৃত্তের ব্যাসার্ধ কত? $\tan 15^\circ = 0.2679$ [Ans. 15.23 km]
22. 500 g ভরের পাথরখণ্ডকে 50 cm দীর্ঘ একটি সুতোয় বেঁধে উল্লম্ব বৃত্তপথে ঘোরানো হবে। সুতো 20 N টান সহ্য করতে পারে। পাথরখণ্ডকে ক্রমশ জোরে ঘোরাতে আরম্ভ করলে, এক সময় সুতো ছিঁড়ে গেল। বৃত্তের কোন বিন্দুতে তা সম্ভব? তখন পাথরখণ্ডের কৌণিক বেগ কত? [Ans. বৃত্তের সর্বনিম্ন বিন্দুতে; 7.7 rad/s]
23. 500 g ভরবিশিষ্ট পাথরকে সুতোর একপ্রান্তে বাঁধা হল। উল্লম্ব তলে 200 cm ব্যাসবিশিষ্ট বৃত্তপথে 4 metre/s বেগে ঘোরানো হলে পাথরটির সর্বোচ্চ এবং সর্বনিম্ন অবস্থানে সুতোর টান নির্ণয় করো। $g = 980 \text{ cm/s}^2$ [Ans. $31 \times 10^4 \text{ dyne}$; $129 \times 10^4 \text{ dyne}$]
24. $33 \frac{1}{3}$ r.p.m. বেগে ঘূর্ণায়মান একটি ঘূর্ণিটেবিলের (turn-table) উপর একটি মুদ্রা রেখে দেখা গেল যে মুদ্রাটি যদি ঘূর্ণাঙ্ক হতে অনধিক 10 cm দূরে থাকে তবে তা না পিছলে ঘূর্ণিটেবিলের সাথে ঘুরতে পারে। ঘূর্ণাঙ্ক হতে কতদূরে মুদ্রাটিকে রাখলে তা না পিছলে ঘূর্ণিটেবিলের সাথে ঘুরতে পারবে যখন টেবিল 45 r.p.m. বেগে ঘুরবে? $g = 980 \text{ cm/s}^2$

[সংকেত : $\omega_1^2 \times 10 = \omega_2^2 x$; $\omega_1 = 33 \frac{1}{3}$ r.p.m. এবং $\omega_2 = 45$ r.p.m.] [Ans. 5.49 cm]

25. 20 rad/s কৌণিক বেগে আবর্তনশীল একটি চক্রকে একটি স্থির মানের টর্ক প্রয়োগ করে 4 সেকেন্ড সময়ে স্থিরবস্থায় আনা হল। ঘূর্ণাক্ষের সাপেক্ষে চক্রের জড় ভ্রামক 0.2 kg-m^2 হলে টর্কের মান নির্ণয় করো।

[সংকেত : পৃষ্ঠার 3 নং অঙ্ক দেখো]

কঠিন গাণিতিক প্রশ্ন

- উল্লম্ব অক্ষের সাপেক্ষে একটি অনুভূমিক চাকতি 100 r.p.m. বেগে ঘুরছে। 10 g ভরের একটি ছোটো মোমের টুকরা খাড়াভাবে পড়ে অক্ষ হতে 9 cm দূরে চাকতিতে আটকে গেল। চাকতির জড়-ভ্রামক $7.3 \times 10^3 \text{ g-cm}^2$ হলে, তার বর্তমান কৌণিক বেগ কত হবে? [Ans. 90 r.p.m.]
- একটি গ্রামোফোনের ঘূর্ণায়মান চাকতির কেন্দ্র হতে 7 cm দূরে একটি ক্ষুদ্র মুদ্রা রাখা আছে। শূন্য থেকে ঘূর্ণনের হার ধীরে ধীরে বেগ বৃদ্ধি করায় যখন মিনিটে 60 বার আবর্তন করতে লাগল তখন মুদ্রাটি বাইরের দিকে চলতে আরম্ভ করে। মুদ্রাটি 12 cm দূরে রাখলে তা চাকতির কত ঘূর্ণন বেগে ছিটকে বাইরের দিকে চলবে? ঐ বস্তুর পরিবর্তে দ্বিগুণ ভরের একটি বস্তু পূর্বের 7 cm দূরের বিন্দুতে রাখলে, ছিটকে যাবার ঘূর্ণন বেগ কত হবে? [Ans. 45.82 rev/min ; 42.43 rev/min]
- সার্কাসে একজন মোটর সাইকেল আরোহী 5 মিটার ব্যাসার্ধের একটি বৃত্তাকার খাঁচার মধ্যে সাইকেল চালাচ্ছে। খাঁচার সর্বোচ্চ বিন্দু অতিক্রমকালে তার নিম্নতম বেগ কত হবে যাতে খাঁচার সাথে সংস্পর্শ ছেদ না হয়? [Ans. 700 cm/s]

- আর্চের ন্যায় বাঁকানো একটি সেতুর পরিকল্পনা করতে হবে যাতে গাড়িগুলি সর্বাধিক 180 km/h বেগে সেতুর সর্বোচ্চ বিন্দুর উপর দিয়ে না লাকিয়ে নিরাপদে চলে যেতে পারে। সেতুর সর্বনিম্ন বা সর্ববৃহৎ বক্রতা ব্যাসার্ধ কত করতে হবে? [Jt. Entrance 1975] [Ans. 255 m (প্রায়)]

- 10 g ভরের একটি বস্তুকণাকে 100 cm দীর্ঘ একটি সুতোয় বেঁধে উল্লম্বতলে ঘোরানো হচ্ছে। উল্লম্বের সাথে সুতো যখন 60° কোণ করে তখন বস্তুকণার গতিবেগ 200 cm/s। বস্তুকণা যখন বৃত্তপথের সর্বনিম্ন বিন্দুতে তখন তার গতিবেগ কত হবে? $g = 980 \text{ cm/s}^2$ [Ans. 671.5 cm/s]

- টেবিলের উপর রাখা m ভরের একটি বস্তু সুতো দ্বারা একটি বুলবুল ভর M ($M > m$)-এর সঙ্গে যুক্ত। সুতোটি টেবিলের একটি ছিদ্র দিয়ে চলে গিয়ে M ভরকে বুলিয়ে রেখেছে। m ভর r ব্যাসার্ধের বৃত্তপথে v গতিবেগে ঘুরে

যদি M ভরকে স্থিরাবস্থায় রাখে তবে প্রমাণ কর যে $v = \sqrt{\frac{Mg \cdot r}{m}}$

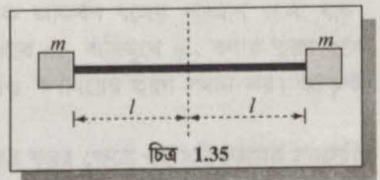
[সংকেত : এক্ষেত্রে $T =$ সুতোর টান $= \frac{mv^2}{r}$; আবার $Mg = T$]

- 4 metre দীর্ঘ সুতোর প্রান্তে 60 g ভর যুক্ত আছে। সুষম বেগে সেটা অনুভূমি তলে বৃত্তপথে ঘুরছে। ঐ বৃত্তপথের তল সুতোর উপর প্রান্ত হতে 3.2 মিটার নীচে। সুতোর টান এবং একবার পূর্ণ বৃত্ত ঘুরতে কত সময় লাগে নির্ণয় করো। [Jt. Entrance 1981] [Ans. 7.35×10^4 dyne ; 2.785 s]

- ট্রেনের একটি কামরার ছাদ হতে নমনীয় তার দ্বারা একটি বাতি ঝোলানো আছে। ট্রেনটি অনুভূমিক তলে 200 m ব্যাসার্ধের বক্রপথে ঘুরে গেলে বাতিটি উল্লম্ব রেখার সাথে $19^\circ 48'$ কোণে হেলে থাকে। ট্রেনের গতিবেগ কত? $g = 9.8 \text{ ms}^{-2}$ এবং $\tan 19^\circ 48' = 0.36$. [Ans. 26.56 ms^{-1}]

- m ভরের দুটি ব্লক একটি দণ্ডের দুই প্রান্তে আবদ্ধ (চিত্র 1.35)। দণ্ডের কেন্দ্র দিয়ে গত একটি উল্লম্ব অক্ষের চতুর্দিকে দণ্ডটি ঘুরছে। দণ্ডের উপর টান T_0 -এর বেশি হলে দণ্ডটি ভেঙে যায়। দণ্ডটি সর্বাধিক কত কম্পাঙ্কে ঘুরতে পারবে যাতে তা ভেঙে না পড়ে?

$$\left[\text{Ans. } n = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{T_0}{ml}} \right]$$



- 0.1 মিটার ব্যাসার্ধবিশিষ্ট একটি অর্ধগোলাকৃতি পাত্র স্খীয় কেন্দ্রগামী অক্ষের চারদিকে ω কৌণিক বেগে ঘুরছে। 10^{-2} kg ভরের একটি কণাও পাত্রের মসৃণ অভ্যন্তরে একই কৌণিক বেগে ঘুরছে। পাত্রের তলদেশ হতে কণাটির উচ্চতা h হলে, h এবং ω -এর ভিত্তর সম্পর্ক নির্ণয় করো। $h > 0$ হতে গেলে ω -এর ন্যূনতম মান কী হবে?

$$[\text{Ans. } h = 0.1 \left(1 - \frac{98}{\omega^2} \right); 9.89 \text{ rad/s}]$$

11. $F = 21\text{N}$ একটি বল অনুভূমিক অক্ষের তলে রাখা 3 kg ভরের একটি গোলকের শীর্ষবিন্দুতে স্পর্শকীয়ভাবে ক্রিয়া করছে (চিত্র 1.36)। গোলকটি না পিছলে কেবল গড়িয়ে চললে, গোলকের কেন্দ্রবিন্দুর ত্বরণ নির্ণয় করো।

[Ans. 10 ms^{-2}]

[সংকেত : F বলের জন্য যখন গোলকটি গড়াবে তখন তলের সঙ্গে তার স্পর্শবিন্দু A বিন্দিকে সরে যাবে ; ফলে গোলকের ওপর ঘর্ষণ বল f ডান দিকে ক্রিয়া করবে। গোলকের রৈখিক ত্বরণ a হলে, কেন্দ্রবিন্দুর সাপেক্ষে কৌণিক ত্বরণ হবে $\alpha = \frac{a}{r}$ ।

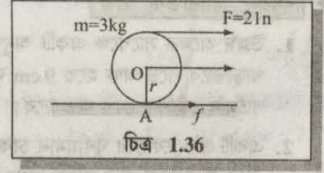
কেন্দ্রের রৈখিক গতির জন্য, $F + f = ma \dots (i)$

এবং আবর্ত গতির জন্য $F \cdot r - f \cdot r = I \cdot \alpha = \left(\frac{2}{5}mr^2\right)\left(\frac{a}{r}\right)$

অতএব, $F - f = \frac{2}{5}ma \dots (ii)$

(i) এবং (ii) সমীকরণ থেকে পাই $F = \frac{7}{10}ma$ ।

$$\therefore a = \frac{10}{7} \times \frac{F}{m} = \frac{10}{7} \times \frac{21}{3} = 10\text{ ms}^{-2}$$

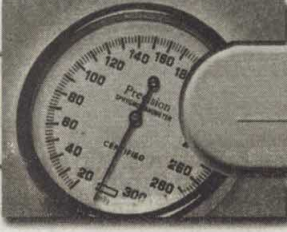


12. একটি r ব্যাসার্ধ্যুক্ত গোলক প্রাথমিকভাবে তার অনুভূমিক অক্ষ বরাবর ω কৌণিক বেগে ঘুরছে। গোলকটি যখন একটি তলের (ঘর্ষণ গুণাঙ্ক $= \mu$) উপর পড়ে তখন প্রথমে তা পিছলাতে থাকে। তারপর না পিছলে আবর্তিত হতে থাকে। (i) ভরকেন্দ্রের চূড়ান্ত রৈখিক বেগ কত হবে ? (ii) এই গতিবেগ পাবার আগে গোলকটি কত দূরত্ব অতিক্রম করবে ?

[Jt. Entrance 2001] [Ans. (i) $\frac{2}{7} \cdot \omega \cdot r$ (ii) $\frac{2}{49} \frac{\omega^2 r^2}{\mu g}$]

□ M.C.Q. প্রশ্নের উত্তর □

(i) D	(vi) D	(xi) C	(xvi) B	(xxi) A	(xxvi) C
(ii) C	(vii) D	(xii) A, D	(xvii) C	(xxii) A	(xxvii) C
(iii) A, B, C	(viii) C	(xiii) D	(xviii) A	(xxiii) D	(xxviii) B
(iv) B	(ix) A	(xiv) D	(xix) D	(xxiv) B	(xxix) D
(v) A	(x) A	(xv) A	(xx) D	(xxv) C	(xxx) A
					(xxxix) C



মহাকর্ষ

[GRAVITATION]

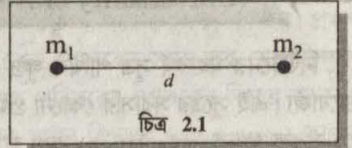
2.1. সূচনা (Introduction):

সূর্যকে কেন্দ্র করে গ্রহগুলি সর্বদা ঘুরছে। বহুপূর্বে জ্যোতির্বিদ টাইকো ব্রেই (1546-1601) ও জোহানেস কেপলার (1571-1630) গ্রহগুলির এই গতি পর্যবেক্ষণ করে কতকগুলি সূত্র দিয়েছিলেন।* কিন্তু কেন গ্রহগুলি সর্বদা ঘুরছে তার কোনো কারণ তাঁদের জানা ছিল না। পরে মহাবিজ্ঞানী স্যার আইজ্যাক নিউটন (1642-1728) যখন মহাকর্ষ সূত্র (law of gravitation) প্রতিষ্ঠা করেন তখন সেই কারণ জানা গেল। মহাকর্ষ পদার্থের সাধারণ ধর্ম। কঠিন, তরল এবং গ্যাসীয় সকল পদার্থেরই এই ধর্ম আছে।

2.2. নিউটনের মহাকর্ষ সূত্র (Newton's law of gravitation):

বিশ্বের যে-কোনো দুটি বস্তুকণা পরস্পরকে তাদের সংযোজী সরলরেখা বরাবর আকর্ষণ করে। এই আকর্ষণের মান বস্তুকণা দুটির ভরের গুণফলের সমানুপাতি এবং তাদের ভিতরকার দূরত্বের বর্গের ব্যস্তানুপাতি (inversely proportional)। এটাই নিউটনের মহাকর্ষ সূত্র।

বস্তুকণা দুটির ভর m_1 ও m_2 ধরলে এবং তাদের ভিতরকার দূরত্ব d হলে [চিত্র 2.1], সূত্রানুযায়ী তাদের পারস্পরিক আকর্ষণ



চিত্র 2.1

বল (i) $F \propto m_1 m_2$ [যখন দূরত্ব (d) স্থির থাকে] (ii) $F \propto \frac{1}{d^2}$

[যখন কণা দুটির ভর (m_1 ও m_2) স্থির থাকে] অর্থাৎ, $F \propto \frac{m_1 m_2}{d^2}$ [যখন d, m_1 এবং m_2 পরিবর্তিত

হয়] অথবা, $F = G \frac{m_1 m_2}{d^2}$ (i)

[দ্রষ্টব্য : (i) নং সমীকরণ থেকে বস্তুকণাদ্বয়ের পারস্পরিক আকর্ষণ বলের পরিমাণ জানা যায়। অতএব, m_2 অভিমুখে m_1 কণার ত্বরণ হবে Gm_2/d^2 । একইভাবে m_1 অভিমুখে m_2 কণার ত্বরণ হবে Gm_1/d^2 । লক্ষ্য করো যে পারস্পরিক আকর্ষণ বল সমান হলেও কণাদ্বয়ের ত্বরণ সমান নয়। আকৃষ্ট বস্তুর ত্বরণ আকর্ষণকারী বস্তুকণার ভরের সমানুপাতি।

(ii), (i) নং সমীকরণ কেবলমাত্র কণার ক্ষেত্রে প্রযোজ্য। বিস্তৃত বস্তুর ক্ষেত্রে ওই সমীকরণের সরাসরি প্রয়োগ চলে না।]

ধ্রুবসংখ্যা G -কে বলা হয় মহাকর্ষীয় ধ্রুবক (Gravitational constant)। সি.জি.এস্. পদ্ধতিতে এর মান 6.67×10^{-8} ; দুটি 1 গ্রাম ভরের বস্তুকণাকে 1 cm দূরে রাখলে তারা পরস্পরের প্রতি

* টাইকো ব্রেই এবং কেপলারের বহুপূর্বে বিশিষ্ট ভারতীয় জ্যোতির্বিদ ও গণিতবিদ আর্যভট্ট চাঁদ, পৃথিবী, গ্রহ ইত্যাদি নভোবস্তুর গতিবিধি পুঙ্খানুপুঙ্খরূপে পর্যালোচনা করেছিলেন এবং তাঁর মতামত ‘আর্যভটিয়া’ নামে বিখ্যাত গ্রন্থে লিপিবদ্ধ করে গেছেন।

6.67×10^{-8} dyne আকর্ষণ বল প্রয়োগ করবে। এটা সর্বপ্রথম পরীক্ষামূলকভাবে নির্ণয় করেন বিজ্ঞানী হেনরী ক্যাম্ব্রিস 1798 খ্রিস্টাব্দে। বলা বাহুল্য, মহাকর্ষীয় আকর্ষণ খুবই ক্ষীণ।

এস.আই. পদ্ধতিতে G -এর মান 6.67×10^{-11} N; অর্থাৎ দুটি 1 kg ভরের বস্তুকণাকে 1 m দূরে রাখলে তারা পরস্পরের প্রতি 6.67×10^{-11} N আকর্ষণ বল প্রয়োগ করবে।

G -এর সংজ্ঞা ও একক:

$F = G \frac{m_1 m_2}{d^2}$; $m_1 = m_2 = 1$ এবং $d = 1$ হলে $G = F$; একক ভরবিশিষ্ট দুটি বস্তুকণা একক দূরত্বে থেকে যে পরিমাণ বল দ্বারা পরস্পরকে আকর্ষণ করে তাকেই মহাকর্ষীয় ধ্রুবক বলা হয়।

পূর্বোক্ত (i) নং সমীকরণ হতে লেখা যায়, $G = \frac{Fd^2}{m_1 m_2}$.

এ থেকে G -এর যে একক পাওয়া যায় তা নিম্নরূপ:

সি.জি.এস. একক \rightarrow ডাইন-সে.মি²/গ্রাম² (dyne-cm²/g²)

এস.আই. একক \rightarrow নিউটন-মি²/কিলোগ্রাম² (newton-metre²/kg²)

● G -এর মাত্রা (Dimension of G):

$$F = G \frac{m_1 m_2}{d^2} \text{ অতএব, } [G] = \frac{[F][d^2]}{[m_1][m_2]} = \frac{[MLT^{-2}][L^2]}{[M^2]} = [M^{-1} L^3 T^{-2}]$$

2.3.

নিউটনের মহাকর্ষ সূত্রের বিশ্বজনীনতা

(Universality of Newton's law of gravitation):

নিউটনের মহাকর্ষ সূত্র পার্থিব ক্ষুদ্র দূরত্ব এবং মহাকাশের দূস্তর নাস্ত্রিক দূরত্বের বেলাতে সমভাবে প্রযোজ্য। এই সূত্রের সরাসরি কোনো প্রমাণ না থাকলেও, এর উপর নির্ভর করে জ্যোতিষ্কমণ্ডলীদের ক্ষেত্রে যে সকল গণনা (calculation) করা হয়েছে, তা অভ্রান্ত বলে প্রমাণিত হয়েছে। এই সূত্রের সাহায্যে সূর্যের চতুর্দিকে গ্রহগুলির গতিবিধি সুন্দরভাবে ব্যাখ্যা করা সম্ভব হয়েছে। তাছাড়া এই সূত্র মাধ্যম-নিরপেক্ষ এবং বস্তুকণা দুটির প্রকৃতি, তাপমাত্রা এবং রাসায়নিক উপাদান প্রভৃতি সম্পর্কেও নিরপেক্ষ; এই সকল কারণে এই সূত্রকে বিশ্বজনীন বা সার্বিক বলে গণ্য করা যেতে পারে।

কিন্তু সূর্যের নিকটবর্তী অঞ্চলে—যেখানে সূর্যের আকর্ষণ প্রবল—সেখানে এই সূত্রের সামান্য বিচ্যুতি দেখা যায়। যেমন বুধগ্রহের (Mercury) অনুসূর (perihelion) প্রতি একশ বছরে সামান্য ঘূর্ণগতির সৃষ্টি করে, দেখা আছে। নিউটনের মহাকর্ষ সূত্র এর কোনো ব্যাখ্যা দিতে পারেনি। তাছাড়া আপেক্ষিক তত্ত্ব অনুযায়ী গতিবেগের উপর বস্তুর ভর নির্ভরশীল বলে এবং দূরত্বের পরিমাপ পর্যবেক্ষকের স্থিতির উপর নির্ভর করে বলে মহাকর্ষ সূত্রকে বিশ্বজনীন আখ্যা দেওয়া সম্ভব নয়। অতি ক্ষুদ্র দূরত্ব—যেমন, 10^{-9} m-এর মতো বা তদপেক্ষা ক্ষুদ্র আন্তরাণবিক দূরত্বের ক্ষেত্রেও এই সূত্র প্রযোজ্য নয়।

□ EXAMPLES □

1. 5 kg এবং 8 kg ভরের দুটি ক্ষুদ্র বস্তুর ভিতর আকর্ষণবল কত যখন তাদের পারস্পরিক দূরত্ব 10 cm; $G = 6.67 \times 10^{-11}$ S.I. unit.

উঃ। $F = \frac{G.m_1 m_2}{d^2}$; এক্ষেত্রে $G = 6.67 \times 10^{-11}$ (S.I.) $m_1 = 5$ kg; $m_2 = 8$ kg; $d = 10$ cm =

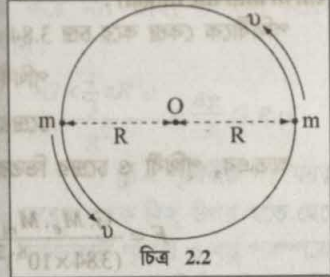
0.1 metre.

$$\text{অতএব, } F = \frac{6.67 \times 10^{-11} \times 5 \times 8}{(0.1)^2} = 26.8 \times 10^{-8} \text{ newton.}$$

[দ্রঃ বিভিন্ন রাশির এককগুলি লক্ষ কর।]

২. সমান ভরের দুটি কণা পারস্পরিক মহাকর্ষীয় আকর্ষণের প্রভাবে R ব্যাসার্ধের বৃত্তপথে ঘুরছে। প্রত্যেক কণার গতিবেগ হিসাব করো।

উঃ। কণা দুটি সর্বদা বৃত্তের ব্যাসের দুই প্রান্তে থাকবে ; কারণ তাহলে তাদের পারস্পরিক মহাকর্ষীয় আকর্ষণ বৃত্তের ব্যাসার্ধ বরাবর কেন্দ্রাভিমুখী হবে। যে-কোনো একটি কণার গতি



$$\text{বিবেচনা করলে, তার উপর আকর্ষণ বল } F = G \frac{m \times m}{(2R)^2} = \frac{Gm^2}{4R^2}$$

$$\text{প্রতিটি কণার বেগ } v \text{ হলে, প্রতি কণার অভিকেন্দ্র বল } = \frac{mv^2}{R}.$$

$$\text{বৃত্তীয় গতি বজায় রাখতে গেলে, } \frac{mv^2}{R} = \frac{Gm^2}{4R^2} \text{ অথবা, } v = \sqrt{\frac{G \cdot m}{4R}}$$

2.4.

নভোমণ্ডলীয় বস্তুগুলির ভিতর মহাকর্ষীয় বল

(Gravitational force between heavenly bodies) :

মহাকাশে গ্রহ, উপগ্রহ, নক্ষত্র প্রভৃতি বহু বস্তু আছে। এই সকল বস্তু আকারে গোলক ধরা হয়। প্রমাণ করা যায় যে মহাকর্ষীয় আকর্ষণের বেলায় দূরত্ব যাই হোক না কেন গোলকের সমস্ত ভর যেন বিন্দুবৎ তার কেন্দ্রে সংহত (concentrated) করা আছে। ফলে, দুটি বিস্তৃত পরিসরের গোলকের ভিতর আকর্ষণ হিসাব করতে হলে আমরা মনে করব যে ঐ গোলক দুটির ভরের সমান বিন্দুভর (point mass) তাদের কেন্দ্রে জমা করা আছে এবং কেন্দ্রদ্বয়ের পারস্পরিক দূরত্ব ঐ বিন্দুভর দুটির ভিতর দূরত্বের সমান।

যেহেতু সূর্য, চন্দ্র, পৃথিবী, উপগ্রহ প্রভৃতি নভোমণ্ডলীয় বস্তুগুলিকে আমরা গোলক বলে মনে করি, তাই তাদের ভিতর মহাকর্ষীয় আকর্ষণ হিসাব করার সময় তাদের সমস্ত ভর তাদের কেন্দ্রে জমা করা আছে মনে করে আমরা নিউটনের মহাকর্ষ সূত্র প্রয়োগ করব।

(ক) সূর্য ও পৃথিবীর ভিতর মহাকর্ষীয় আকর্ষণ (Gravitational attraction between the sun and the earth) :

$$\text{সূর্যের ভর (M) = } 1.99 \times 10^{30} \text{ kg}$$

$$\text{পৃথিবীর ভর (m) = } 5.96 \times 10^{24} \text{ kg.}$$

সূর্যের চতুর্দিকে পৃথিবী প্রায় বৃত্তাকার কক্ষপথে পরিভ্রমণ করে ধরে নিলে দেখা গেছে যে ঐ বৃত্তের ব্যাসার্ধ $d = 1.497 \times 10^{11}$ metre (প্রায়)।

অতএব, সূর্য ও পৃথিবীর ভিতর মহাকর্ষীয় আকর্ষণ বল

$$F = G \frac{M \cdot m}{d^2} = \frac{6.67 \times 10^{-11} \times 1.99 \times 10^{30} \times 5.96 \times 10^{24}}{(1.497 \times 10^{11})^2}$$

$$= 3.53 \times 10^{22} \text{ newton (প্রায়).}$$

(খ) পৃথিবী ও চন্দ্রের ভিতর মহাকর্ষীয় আকর্ষণ (Gravitational attraction between the earth and the moon) :

পৃথিবীকে কেন্দ্র করে চন্দ্র 3.84×10^8 metre ব্যাসার্ধের বৃত্তাকার কক্ষপথে পরিভ্রমণ করে। এখন,

$$\text{পৃথিবীর ভর } (M_e) = 5.96 \times 10^{24} \text{ kg}$$

$$\text{চন্দ্রের ভর } (M_m) = 7.33 \times 10^{22} \text{ kg.}$$

অতএব, পৃথিবী ও চন্দ্রের ভিতর মহাকর্ষীয় আকর্ষণ বল

$$F = \frac{G \cdot M_e \cdot M_m}{(3.84 \times 10^8)^2} = \frac{6.67 \times 10^{-11} \times 5.96 \times 10^{24} \times 7.33 \times 10^{22}}{(3.84 \times 10^8)^2}$$

$$= 1.98 \times 10^{20} \text{ newton (প্রায়)।}$$

লক্ষ কর যে সূর্যের ভর চন্দ্রের ভরের তুলনায় প্রায় 3 কোটি গুণ বেশি, কিন্তু সূর্য ও পৃথিবীর ভিতর মহাকর্ষীয় আকর্ষণ বল পৃথিবী ও চন্দ্রের ভিতর মহাকর্ষীয় বল অপেক্ষা মাত্র 178 গুণ বেশি।

2.5.

অভিকর্ষ ও অভিকর্ষজ ত্বরণ

(Gravity and acceleration due to gravity) :

পৃথিবীর পৃষ্ঠে বা পৃষ্ঠের কাছাকাছি অবস্থিত কোনো বস্তুর উপর পৃথিবীর আকর্ষণকে অভিকর্ষ বলা হয়। অভিকর্ষের ফলে গাছ থেকে ফল পড়লে ফলটি পৃথিবী অভিমুখে ধাবিত হয়, যে-কোনো বস্তুকে পড়তে দিলে তা পৃথিবীর দিকে পড়ে এবং বস্তুসমূহের ওজন পরিলক্ষিত হয়। অভিকর্ষকে মহাকর্ষের একটি বিশেষ ক্ষেত্র (special case) বলে গণ্য করা হয়।

নিউটনের দ্বিতীয় গতিসূত্র হতে আমরা জানি, কোনো বস্তুর উপর বল ক্রিয়া করলে বস্তুর গতি ত্বরান্বিত হয় অথবা একটি ত্বরণ সৃষ্টি হয়। অভিকর্ষ বলের ক্রিয়ায় যখন কোনো বস্তু পৃথিবীর দিকে পড়ে তখন তারও একটি ত্বরণ থাকে। এই ত্বরণকে বলা হয় অভিকর্ষজ ত্বরণ (acceleration due to gravity)। একে g অক্ষর দ্বারা নির্দেশ করা হয়।

সংজ্ঞা : অভিকর্ষ বলের ক্রিয়ায় অবাধে পতনশীল বস্তুতে যে ত্বরণ সৃষ্টি হয় তাকে অভিকর্ষজ ত্বরণ বলে।

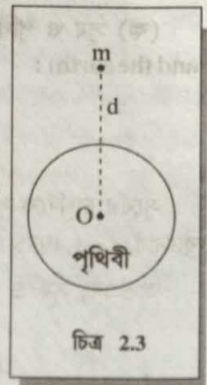
মনে করো, m ভরের একটি বস্তুকণা পৃথিবীর কেন্দ্র থেকে d দূরত্বে আছে [2.3 নং চিত্র]। এখন বস্তুটিকে ছেড়ে দিলে পৃথিবীর আকর্ষণে তা নিচে পড়বে। তখন তার একটি ত্বরণ সৃষ্টি হবে যাকে অভিকর্ষজ ত্বরণ (g) বলা হয়। পৃথিবীর ভর M এবং আকর্ষণ বল F

$$\text{হলে নিউটনের মহাকর্ষ সূত্রানুযায়ী লেখা যেতে পারে, } F \equiv G \cdot \frac{M \cdot m}{d^2}.$$

এখানে পৃথিবীর সমস্ত ভরকে তার কেন্দ্র বিন্দু O -তে একত্রীভূত করা আছে কল্পনা করা হয়েছে। এখন বস্তুটি যদি g ত্বরণ নিয়ে পড়ে তবে নিউটনের দ্বিতীয়

$$\text{গতিসূত্র হতে পাই, } F = mg \text{ বা, } mg = G \frac{mM}{d^2}$$

$$\therefore g = \frac{GM}{d^2}.$$



চিত্র 2.3

যেহেতু G এবং M ধ্রুবক, কাজেই $g \propto \frac{1}{d^2}$ অর্থাৎ কোনো স্থানে g -এর মান পৃথিবীর কেন্দ্র হতে

সেই স্থানের দূরত্বের বর্গের ব্যস্তানুপাত। উপরোক্ত সমীকরণ থেকে এটাও বোঝা যায় যে, নির্দিষ্ট কোনও স্থানে অভিকর্ষজ ত্বরণ বস্তুর ভরের উপর নির্ভর করে না; তাই, কোনো নির্দিষ্ট স্থানে ভারী, হালকা সব রকম বস্তুর অভিকর্ষজ ত্বরণ সমান।

$$\text{ভূপৃষ্ঠে } d=R \text{ (পৃথিবীর ব্যাসার্ধ)}; \text{ কাজেই ভূপৃষ্ঠে } g = \frac{GM}{R^2} = \frac{G \times \frac{4}{3}\pi R^3 \rho}{R^2} = \frac{4\pi}{3} G.R.\rho$$

[ρ = পৃথিবীর গড় ঘনত্ব]

● এই প্রসঙ্গে একটি কথা খুবই উল্লেখযোগ্য। বলা হয়েছে m ভরের বস্তুকে কিছু উপর হতে ছেড়ে দিলে, অভিকর্ষের ক্রিয়ায় বস্তু পৃথিবীর দিকে পড়ে। কিন্তু অভিকর্ষের নিয়মানুযায়ী পৃথিবী ও বস্তু পরস্পরের প্রতি সমান অভিকর্ষ বল প্রয়োগ করে। তবে বস্তুর দিকে পৃথিবী ধাবিত না হয়ে বস্তু পৃথিবীর দিকে ধাবিত হয় কেন? এই প্রশ্নের উত্তর খুবই সহজ।

আমরা দেখলাম, বস্তু ও পৃথিবী পরস্পরের প্রতি যে অভিকর্ষ বল F প্রয়োগ করে তা এইরূপ :

$$F = G \frac{M.m}{d^2}; \text{ এখন বস্তু পৃথিবীর দিকে যে ত্বরণ নিয়ে অগ্রসর হয় তা} = \frac{\text{বস্তুর উপর প্রযুক্ত বল}}{\text{বস্তুর ভর}}$$

$$= \frac{F}{m} = \frac{G.Mm}{d^2 m} = \frac{GM}{d^2} \text{ আবার পৃথিবী বস্তুর দিকে যে ত্বরণ নিয়ে অগ্রসর হয় তা অর্থাৎ,}$$

$$\text{পৃথিবীর ত্বরণ} = \frac{\text{পৃথিবীর উপর প্রযুক্ত বল}}{\text{পৃথিবীর ভর}} = \frac{F}{M} = \frac{G.Mm}{d^2 M} = \frac{Gm}{d^2}$$

$$\therefore \frac{\text{বস্তুর ত্বরণ}}{\text{পৃথিবীর ত্বরণ}} = \frac{M}{m}$$

পৃথিবীর ভর M বস্তুর ভর m অপেক্ষা বহুগুণ; সুতরাং বস্তুর ত্বরণ পৃথিবীর ত্বরণ অপেক্ষা বহুগুণ হবে। এথেকে বোঝা যায় কেন পৃথিবী বস্তুর দিকে ধাবিত হয় না—বস্তুই পৃথিবীর দিকে ধাবিত হয়।

□ EXAMPLES □

১. যদি পৃথিবী লোহার তৈরি $6.37 \times 10^6 \text{ m}$ ব্যাসার্ধ এবং 7.86 gcm^{-3} ঘনত্বের একটি নিরেট গোলক হত, তবে ভূপৃষ্ঠে অভিকর্ষজ ত্বরণের মান কত হত? $G = 6.67 \times 10^{-8} \text{ c.g.s.}$ একক।

$$\text{উঃ। ভূপৃষ্ঠে } g = \frac{4\pi}{3} G.R.\rho$$

$$= \frac{4 \times 3.14}{3} \times 6.67 \times 10^{-8} \times 6.37 \times 10^8 \times 7.86$$

$$= 1398.16 \text{ cms}^{-2}$$

$$[R = 6.37 \times 10^6 \text{ m} = 6.37 \times 10^8 \text{ cm}]$$

২. ভূ পৃষ্ঠে একটি স্প্রিং-য়ের তলায় আবদ্ধ একটি বস্তু স্প্রিংয়ের দৈর্ঘ্য 2 cm বৃদ্ধি করে। ভূপৃষ্ঠ থেকে 1000 km উচ্চে ঐ বস্তু স্প্রিংয়ের দৈর্ঘ্য কতটা বৃদ্ধি করে? পৃথিবীর ব্যাসার্ধ $= 6400 \text{ km}$.

$$\text{উঃ। ধর, বস্তুর ভর} = m \text{ এবং স্প্রিংয়ের বল-শ্রুবক} = k; \text{ ভূপৃষ্ঠে অভিকর্ষজ ত্বরণ } g = \frac{GM}{R^2}$$

$$\text{এবং বস্তুর ওজন} = mg = \frac{GMm}{R^2} \text{ তাহলে স্প্রিংয়ের দৈর্ঘ্য বৃদ্ধি} = \frac{\text{ভর}}{\text{বল শ্রুবক}} = \frac{GMm}{kR^2}$$

$$\text{অতএব, } 2 = \frac{GMm}{kR^2} \dots (1)$$

আবার, $h = 1000 \text{ km}$ উচ্চতায় দৈর্ঘ্য বৃদ্ধি $x = \frac{GMm}{k(R+h)^2} \dots (ii)$

(i) এবং (ii) সমীকরণ থেকে $\frac{x}{2} = \frac{R^2}{(R+h)^2} = \left(\frac{6400 \text{ km}}{7400 \text{ km}}\right)^2 = 0.75 \therefore x = 1.5 \text{ cm}.$

3. ভর অপরিবর্তিত রেখে পৃথিবীর ব্যাসার্ধ 1% কমলে পৃথিবীপৃষ্ঠে অভিকর্ষজ ত্বরণের মানের শতকরা কী পরিবর্তন হবে?

উঃ। পৃথিবীপৃষ্ঠে $g = \frac{GM}{R^2} \dots (i)$ [M = পৃথিবীর ভর এবং R = ব্যাসার্ধ]

R -এর সাপেক্ষে ডিফারেন্সিয়েট করলে, $\frac{dg}{dR} = -2 \frac{GM}{R^3}$ অথবা, $dg = -2 \frac{GM}{R^3} dR \dots (ii)$

(ii) নং সমীকরণকে (i) নং দিয়ে ভাগ করলে, $\frac{dg}{g} = -\frac{2GM}{R^3} dR / \frac{GM}{R^2} = -2 \frac{dR}{R}$

প্রদানুযায়ী, $\frac{dR}{R} = 1\% \therefore \frac{dg}{g} = -2 \times 1 = -2\%$

অভিকর্ষজ ত্বরণের মান 2% কমে যাবে।

2.6.

অভিকর্ষজ ত্বরণের মানের পরিবর্তন (Variation of the value of acceleration due to gravity):

কোনও স্থানে g -এর মান নিম্নলিখিত কারণগুলির জন্য পরিবর্তন করতে পারে : (i) পৃথিবীর অসম আকৃতির দরুন, (ii) পৃথিবীপৃষ্ঠ হতে ঐ স্থানের উচ্চতার দরুন, (iii) পৃথিবীর অভ্যন্তরে যাবার দরুন, (iv) পৃথিবীর দৈনিক গতির দরুন। আমরা এই কারণগুলি একে একে আলোচনা করব।

(i) পৃথিবীর অসম আকৃতির দরুন (For the non-spherical shape of the earth) : পৃথিবীর আকার সম্পূর্ণ গোল নয়। মেরুপ্রদেশ একটু চাপা এবং বিষুব (equatorial) অঞ্চল একটু ফোলানো। ফলে, পৃথিবীর কেন্দ্র হতে মেরুদ্বয়ের দূরত্ব বিষুব-বিন্দুদ্বয়ের দূরত্ব অপেক্ষা কম। মেরু-ব্যাসার্ধ (polar radius) অপেক্ষা বিষুব ব্যাসার্ধ (equatorial radius) প্রায় 20 km বেশি। আমরা পূর্ব অনুচ্ছেদে দেখেছি যে পৃথিবী-কেন্দ্র হতে কোনো স্থানের দূরত্ব বাড়লে g -এর মান কমে এবং দূরত্ব কমলে g -এর মান বাড়ে। অতএব, মেরুপ্রান্তে g -এর মান বিষুবরেখা হতে বেশি হবে।

(ii) পৃথিবীপৃষ্ঠ থেকে স্থানের উচ্চতার দরুন (Due to the altitude of the place) :

ধরো, পৃথিবীপৃষ্ঠে অভিকর্ষজ ত্বরণের মান g_0 এবং h উচ্চতায় মান g_h ; পৃথিবীকে গোলক মনে করলে, কোনো স্থানে g -এর মান পৃথিবী-কেন্দ্র হতে ঐ স্থানের দূরত্বের বর্গের ব্যস্তানুপাতি। কাজেই,

পৃথিবীর ব্যাসার্ধ R ধরলে, $\frac{g_0}{g_h} = \frac{(R+h)^2}{R^2} = \frac{R^2 + 2Rh + h^2}{R^2} = 1 + \frac{2h}{R} + \frac{h^2}{R^2} \dots (i)$

পৃথিবীর ব্যাসার্ধ R -এর তুলনায় ঐ স্থানের উচ্চতা h যদি খুব কম হয়, তবে $\frac{h^2}{R^2}$ -কে অগ্রাহ্য করা যায়। তাহলে, $\frac{g_0}{g_h} = 1 + \frac{2h}{R}$

$\therefore g_h = \frac{g_0}{1 + \frac{2h}{R}} = g_0 \left(1 + \frac{2h}{R}\right)^{-1} = g_0 \left[1 - \frac{2h}{R} + \dots\right] \approx g_0 \left(1 - \frac{2h}{R}\right) \dots (ii)$

[বাইনোমিয়াল উপপাদ্য প্রয়োগ করে]

[$h \ll R$ হওয়ায় h/R -এর উর্ধ্বঘাত অগ্রাহ্য করা যায়]

মন্তব্য : (i) উচ্চতা h বাড়লে, g -এর মান ক্রমশ কমে যাবে—অথবা উচ্চতা বৃদ্ধির সঙ্গে অভিকর্ষজ ত্বরণ হ্রাস পাবে।

(ii) আবার, $g_0 - g_h =$ উচ্চতার দরুন অভিকর্ষজ ত্বরণের হ্রাস $= \frac{2h \cdot g_0}{R}$ (iii)

[দ্রঃ যখন $h \ll R$, তখন (ii) নং সমীকরণ প্রযোজ্য। যদি R -এর তুলনায় h খুব ক্ষুদ্র না হয় তবে (i) নং সমীকরণ প্রযোজ্য।]

□ EXAMPLES □

1. ভূপৃষ্ঠ থেকে কত উচ্চতায় গেলে সেখানকার অভিকর্ষজ ত্বরণের মান ভূপৃষ্ঠের মানের এক শতাংশ হবে? পৃথিবীকে 6.38×10^6 m ব্যাসার্ধের সমসত্ত্ব গোলক বলে মনে করতে পারো।

উঃ। ধর, নির্ণেয় উচ্চতা h metre ; ঐ স্থানে অভিকর্ষজ ত্বরণ g_h হলে এবং ভূপৃষ্ঠে g_0 হলে,

$$\frac{g_h}{g_0} = \frac{R^2}{(R+h)^2}; \text{ প্রদানুযায়ী, } \frac{g_h}{g_0} = \frac{1}{100} \quad \therefore \frac{1}{100} = \frac{R^2}{(R+h)^2} \text{ বা, } \frac{1}{10} = \frac{R}{R+h}$$

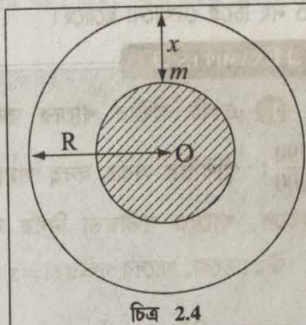
অথবা, $h = 9R = 9 \times 6.38 \times 10^6 \text{ m} = 57.42 \times 10^3 \text{ km}$.

2. ভূপৃষ্ঠের 2 মাইল উর্ধ্ব অভিকর্ষজ ত্বরণ কত হবে? পৃথিবীর ব্যাস 8000 মাইল; ভূপৃষ্ঠে $g = 9.8 \text{ ms}^{-2}$.

$$\text{উঃ। } g_h = g_0 \left(1 - \frac{2h}{R}\right) = 9.8 \left(1 - \frac{2 \times 2}{4000}\right) = 9.79 \text{ ms}^{-2} \text{ (প্রায়)}$$

[দ্রঃ লক্ষ্য করো যে এক্ষেত্রে h এবং R -এর মান cgs এককে রূপান্তরিত করার প্রয়োজন হল না।]

(iii) পৃথিবীর অভ্যন্তরে (At a depth inside the earth) : মনে করো, O পৃথিবীর কেন্দ্র, R পৃথিবীর ব্যাসার্ধ এবং ভূপৃষ্ঠ থেকে পৃথিবীর অভ্যন্তরে x দূরে m ভরের একটি বস্তু আছে [চিত্র 2.4]। এখন যদি O বিন্দুকে কেন্দ্র করে এবং $(R-x)$ ব্যাসার্ধ নিয়ে একটি গোলক কল্পনা করা যায়, তবে ঐ গোলক পৃথিবীকে দুটি অংশে ভাগ করবে। একটি অভ্যন্তরীণ গোলক (কালো রেখাঙ্কিত) যার ব্যাসার্ধ $= (R-x)$ এবং অপরটি x বেধের একটি খোলক (shell)। বস্তুটি অভ্যন্তরীণ গোলকের ঠিক বাইরে কিন্তু খোলকের মধ্যে অবস্থিত। এই অবস্থায় প্রমাণ করা যায়, বস্তুটি শুধু অভ্যন্তরীণ গোলকের দরুন অভিকর্ষ বল অনুভব করবে—খোলক কোনো অভিকর্ষ বল প্রয়োগ করবে না। মহাকর্ষ সূত্র হতে আমরা বলতে পারি, যদি বস্তু



চিত্র 2.4

F আকর্ষণ বল অনুভব করে, তবে $F = \frac{G \times \text{অভ্যন্তরীণ গোলকের ভর} \times \text{বস্তুর ভর}}{(R-x)^2}$

এখন, অভ্যন্তরীণ গোলকের ভর $= \frac{4}{3} \pi (R-x)^3 \cdot \rho$ [ρ = পৃথিবীর গড় ঘনত্ব]

$$\therefore F = \frac{G \times \frac{4}{3} \pi (R-x)^3 \rho \cdot m}{(R-x)^2} = G \cdot \frac{4}{3} \pi (R-x) \rho \cdot m$$

$$\text{অতএব, ঐ স্থানে অভিকর্ষজ ত্বরণ } g_x = \frac{\text{বস্তুর উপর প্রযুক্ত বল}}{\text{বস্তুর ভর}} = \frac{F}{m} = G \cdot \frac{4}{3} \pi (R-x) \rho.$$

G এবং ρ ধুবরাশি; কাজেই x যত বৃদ্ধি পাবে অর্থাৎ যত বস্তু পৃথিবীর অভ্যন্তরে যাবে তত $(R-x)$ -এর মান কমবে। ফলে, g -এর মান কমবে। বস্তুকে পৃথিবীর কেন্দ্রে নিয়ে যাওয়া হলে, $x=R$ হবে এবং সেক্ষেত্রে $(R-x)=0$ এবং $g=0$; কাজেই পৃথিবীর কেন্দ্রে অভিকর্ষজ ত্বরণের মান শূন্য।

$$\text{পৃথিবীপৃষ্ঠে অভিকর্ষজ ত্বরণ } g_0 \text{ হলে, } g_0 = \frac{4\pi}{3} G \cdot R \cdot \rho \quad (2.5 \text{ অনুচ্ছেদ})$$

$$\text{কাজেই, } \frac{g_x}{g_0} = \frac{\frac{4}{3} \pi G (R-x) \rho}{\frac{4}{3} \pi G \cdot R \cdot \rho} = \left(1 - \frac{x}{R}\right) \therefore g_x = g_0 \left(1 - \frac{x}{R}\right) = \frac{g_0}{R} (R-x) \dots\dots\dots (iv)$$

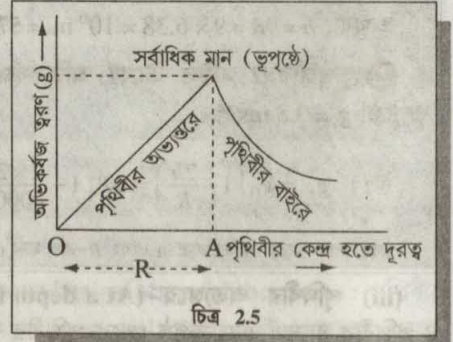
সুতরাং, ভূপৃষ্ঠের অভ্যন্তরে অভিকর্ষজ ত্বরণ ভূকেন্দ্রে হতে দূরত্বের $(R-x)$ সমানুপাতি।

$$\text{আবার, } g_0 - g_x = \frac{x \cdot g_0}{R} \dots\dots (v)$$

(iii) এবং (v) নং সমীকরণ তুলনা করে বলা যায় যে ভূপৃষ্ঠ থেকে কোনো উচ্চতায় অভিকর্ষজ ত্বরণ ভূপৃষ্ঠের অভ্যন্তরে একই দূরত্বে অভিকর্ষজ ত্বরণ অপেক্ষা কম।

[দ্রষ্টব্য: পৃথিবী সমসত্ত্ব গোলক নয়। উর্ধ্বন্তরে পৃথিবীর ঘনত্ব কম, নিম্নন্তরে বেশি। তাই, গভীরতা বৃদ্ধির সঙ্গে g -এর মান প্রথমে কিছু বাড়ে, পরে কমে থাকে।]

(ii) এবং (iv) নং সমীকরণ থেকে জানা যায় যে, ভূপৃষ্ঠ থেকে উর্ধ্বে গেলে অভিকর্ষজ ত্বরণের মান হ্রাস পায়; আবার পৃথিবীর অভ্যন্তরে গেলেও অভিকর্ষজ ত্বরণ হ্রাস পায়। অতএব অভিকর্ষজ ত্বরণের মান সর্বাধিক হবে ভূপৃষ্ঠের উপর। পৃথিবীর ব্যাসার্ধ R হলে ভূকেন্দ্রে হতে দূরত্বের সাথে অভিকর্ষজ ত্বরণের মানের পরিবর্তন 2.5 নং চিত্রে দেখানো হয়েছে।



চিত্র 2.5

□ EXAMPLES □

১. একটি গভীর খাদের তলদেশে এবং ভূপৃষ্ঠে অভিকর্ষজ ত্বরণের মানের অনুপাত

$\frac{790}{800}$; পৃথিবীর সর্বত্র ঘনত্ব সমান হলে এবং পৃথিবীকে 6400 km ব্যাসার্ধের গোলক মনে করলে, খাদের গভীরতা নির্ণয় করো।

উঃ। ধরো, খাদের গভীরতা = x km এবং সেখানে অভিকর্ষজ ত্বরণ = g_x ; ভূপৃষ্ঠে অভিকর্ষজ ত্বরণ

$$g_0 \text{ ধরলে, } \frac{g_x}{g_0} = 1 - \frac{x}{R} \text{ অথবা, } \frac{790}{800} = 1 - \frac{x}{6400} \therefore x = \frac{6400 \times 10}{800} = 80 \text{ km.}$$

২. যদি কোনো ব্যক্তি ভূপৃষ্ঠ থেকে পৃথিবীর ব্যাসার্ধের সমান উচ্চতায় যায় এবং ভূগর্ভে পৃথিবীর ব্যাসার্ধের সমান গভীরতায় নামে তাহলে দুই ক্ষেত্রে তার ওজনের কীরূপ পরিবর্তন হবে?

উঃ। ভূপৃষ্ঠে কোনো ব্যক্তির ওজন $W_1 = \text{ব্যক্তির ভর (m)} \times g_0$ [$g_0 = \text{ভূপৃষ্ঠে অভিকর্ষজ ত্বরণ}$]

$$\text{ভূপৃষ্ঠে } g_0 = \frac{GM}{R^2}; \text{ ভূপৃষ্ঠ থেকে } R \text{ উচ্চতায় } g_R = \frac{GM}{(R+R)^2} = \frac{GM}{4R^2}$$

$$R \text{ উচ্চতায় ব্যক্তির ওজন } W_2 = mg_R \therefore \frac{W_2}{W_1} = \frac{m \cdot g_R}{mg_0} = \frac{GMm}{4R^2} \times \frac{R^2}{GMm} = \frac{1}{4}$$

আবার, পৃথিবীর অভ্যন্তরে ভূপৃষ্ঠ থেকে R গভীরতায় মানে ভূকেন্দ্র এবং সেখানে $g = 0$; সুতরাং পৃথিবীর অভ্যন্তরে ব্যাসার্ধের সমান গভীরতায় বস্তুর ওজন শূন্য।

৩. ভূপৃষ্ঠ থেকে যে উচ্চতায় এবং ভূপৃষ্ঠ থেকে যে গভীরতায় অভিকর্ষজ ত্বরণের মান সমান, সেই উচ্চতা ও গভীরতার অনুপাত নির্ণয় করো।

উঃ। ধরা যাক, ভূপৃষ্ঠ থেকে h উচ্চতায় অভিকর্ষজ ত্বরণ g_h ; তাহলে $g_h = g_0 \left(1 - \frac{2h}{R}\right)$; $R =$ পৃথিবীর ব্যাসার্ধ। আবার মনে করো ভূপৃষ্ঠ থেকে d গভীরে অভিকর্ষজ ত্বরণ g_d :

$$\text{তাহলে } g_d = g_0 \left(1 - \frac{d}{R}\right)। \text{ প্রশ্নানুযায়ী, } g_h = g_d$$

$$\text{অতএব, } 1 - \frac{2h}{R} = 1 - \frac{d}{R} \therefore \frac{h}{d} = \frac{1}{2}.$$

এই ফলাফল থেকে বলা যায় ভূপৃষ্ঠ থেকে h উচ্চতায় অভিকর্ষজ ত্বরণের মান ভূপৃষ্ঠ থেকে d গভীরতায় অভিকর্ষজ ত্বরণের মানের সমান হবে যদি $d = 2h$ হয়। এই ফলাফল প্রযোজ্য যখন h -এর মান খুব বেশি নয়।

(iv) পৃথিবীর দৈনিক ঘূর্ণনের দরুন (Due to the earth's diurnal rotation): পৃথিবী নিজ অক্ষের চতুর্দিকে পশ্চিম থেকে পূর্ব দিকে প্রদক্ষিণ করে। পৃথিবী যদি স্থির থাকত এবং একটি সমসত্ত্ব গোলক হত তাহলে পৃথিবীর সর্বত্র অভিকর্ষজ ত্বরণের মান সমান হত এবং পৃথিবীর কেন্দ্রের দিকে অভিমুখী হত। নিজ অক্ষ সাপেক্ষে পৃথিবীর ঘূর্ণনের ফলে ভূপৃষ্ঠের প্রতিটি বস্তু পৃথিবীর সঙ্গে একই কৌণিক বেগে (ω) ঘুরছে। এই কৌণিক বেগের জন্য বস্তুর উপর যে বহির্মুখী অপকেন্দ্র বল ক্রিয়া করে অভিকর্ষ বলের কিছু অংশ ঐ বহির্মুখী বলকে নিষ্ক্রিয় করতে ব্যয় হয়। তাই, অভিকর্ষজ ত্বরণ প্রকৃত মান অপেক্ষা কিছু কম হয়।

প্রমাণ * করা যায় যে, ϕ অক্ষাংশে অভিকর্ষজ ত্বরণের আপাত মান g_ϕ হলে

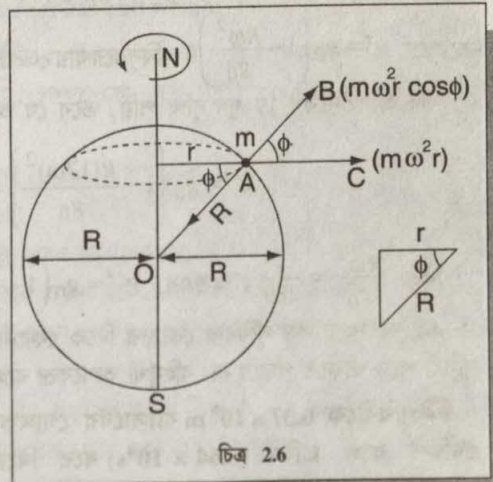
$$g_\phi = g_0 \left(1 - \frac{R\omega^2 \cos^2 \phi}{g_0}\right) \dots (i)$$

[$R =$ পৃথিবীর ব্যাসার্ধ।]

$$\text{এখন, } \frac{R\omega^2}{g_0} = \frac{1}{289}$$

$$\therefore g_\phi = g_0 \left(1 - \frac{\cos^2 \phi}{289}\right) \dots (i)$$

[* প্রমাণ: ধরো, m ভরের একটি বস্তু পৃথিবীপৃষ্ঠে ϕ অক্ষাংশে A বিন্দুতে অবস্থিত আছে (চিত্র 2.6)। বস্তুটি r ব্যাসার্ধের বৃত্তপথে (কাটা কাটা রেখা দ্বারা দেখানো হয়েছে) পৃথিবীর কৌণিক বেগ ω সহ পৃথিবীর সঙ্গে $N-S$ অক্ষ বেড়ে ঘুরছে। পৃথিবীর ব্যাসার্ধ R হলে, $r = R \cos \phi$ ।



চিত্র 2.6

এখন বস্তুর উপর ক্রিয়াশীল (বহির্মুখী) অপকেন্দ্র বল $F = m\omega^2 r$; এই বলের অভিমুখ AC বরাবর। বস্তুর ওজন $W = mg$ পৃথিবীর কেন্দ্র O অভিমুখে। AB অভিমুখে অপকেন্দ্র বলের উপাংশ $= F \cos \phi = m\omega^2 r \cos \phi$ । এই উপাংশ W -এর বিপরীত দিকে ক্রিয়া করে বস্তুর ওজনের হ্রাস ঘটাবে। A বিন্দুতে অবস্থিত বস্তুর আপাত ওজন W' হলে $W' = mg_0 - m\omega^2 r \cos \phi$ । A বিন্দুতে অভিকর্ষজ ত্বরণের কার্যকর মান g_ϕ হলে, $W' = m.g_\phi$

$$\begin{aligned} \therefore mg_\phi &= m.g_0 - m\omega^2 r \cos \phi \\ &= m.g_0 - m\omega^2 R \cos^2 \phi \quad [r = R \cos \phi] \\ \therefore g_\phi &= g_0 - \omega^2 R \cos^2 \phi \end{aligned}$$

$$= g_0 \left(1 - \frac{\omega^2 R \cos^2 \phi}{g_0} \right)$$

মন্তব্য (Remarks):

(i) সমীকরণ থেকে বিভিন্ন অক্ষাংশে g -এর মান পাওয়া যাবে।

(a) বিষুবরেখায় $\phi = 0$; কাজেই $\cos \phi = 1$, সুতরাং, ঐ স্থানে g_ϕ -এর মান সর্বনিম্ন (9.78 ms^{-2})

$$(i) \text{ নং সমীকরণ থেকে পাই, } g_{\phi=0} = g_0 \left(1 - \frac{R\omega^2}{g_0} \right) = g_0 - R.\omega^2 \dots\dots\dots (ii)$$

(b) মেরু অঞ্চলে, $\phi = 90^\circ$; কাজেই $\cos \phi = 0$, সুতরাং মেরুতে অভিকর্ষের উপর পৃথিবীর দৈনিক ঘূর্ণনের কোনো প্রভাব থাকে না এবং সেখানে g_ϕ -এর মান সর্বাধিক (9.82 ms^{-2}) এবং $g_\phi = 90 = g_0$ ।

(c) মেরু এবং নিরক্ষরেখায় অভিকর্ষজ ত্বরণের মানের পার্থক্য

$$g_{\phi=90} - g_{\phi=0} = g_0 - (g_0 - R.\omega^2) = R.\omega^2$$

(d) (ii) নং সমীকরণ থেকে জানা যায় যে পৃথিবীর আবর্তন বন্ধ হলে ($\omega = 0$) g_ϕ -এর মান বৃদ্ধি পাবে আবার পৃথিবীর আবর্তন বেগ (ω) বৃদ্ধি পেলে, g_ϕ হ্রাস পাবে।

EXAMPLES

1. পৃথিবীর আবর্তন বেগ বর্তমান বেগের তুলনায় 17 গুণ বৃদ্ধি পেলে প্রমাণ করো যে বিষুবরেখায় অবস্থিত কোনো বস্তু পৃথিবীপৃষ্ঠে থাকতে পারবে না।

উঃ। বিষুবরেখায় অবস্থিত বস্তু পৃথিবীর দৈনিক ঘূর্ণনের দরুন যে আপাত অভিকর্ষজ ত্বরণ অনুভব করে তা $g' = g_0 \left(1 - \frac{R\omega^2}{g_0} \right)$; [বিষুবরেখায় $\phi = 0$]

যদি আবর্তনবেগ 17 গুণ বৃদ্ধি পায়, তবে যে অভিকর্ষজ ত্বরণ ক্রিয়া করবে তা

$$g'' = g_0 \left\{ 1 - \frac{R(17\omega)^2}{g_0} \right\} = g_0 \left\{ 1 - \frac{289.R\omega^2}{g_0} \right\}$$

$$\text{কিন্তু } \frac{R\omega^2}{g_0} = \frac{1}{289}; \text{ অতএব, } g'' = g_0 \left(1 - \frac{289}{289} \right) = 0$$

এই অবস্থায় বস্তু পৃথিবীর কেন্দ্রের দিকে কোনো অভিকর্ষজ ত্বরণ অনুভব করবে না; ফলে সে পৃথিবী পৃষ্ঠে থাকতে পারবে না। বহির্মুখী অপকেন্দ্র বলের জন্য পৃথিবীপৃষ্ঠ থেকে ছিটকে দূরে চলে যাবে।

2. পৃথিবীকে $6.37 \times 10^6 \text{ m}$ ব্যাসার্ধের গোলক মনে করে এবং স্বীয় অক্ষের চতুর্দিকে তার প্রদক্ষিণ কাল 1 দিন ($8.64 \times 10^4 \text{ s}$) ধরে নিয়ে, পৃথিবীর মেরু থেকে বিষুবরেখা পর্যন্ত অভিকর্ষজ ত্বরণের মানের কীরূপ পার্থক্য হবে নির্ণয় করো।

উঃ। বিষুবরেখায় $g_c = \frac{GM}{R^2} - a_c$ [a_c = অপকেন্দ্র ত্বরণ]

মেরুতে পৃথিবীর ঘূর্ণাক্ষের উপর বস্তু অবস্থিত থাকে বলে $a_c = 0$; সুতরাং মেরুতে $g_p = \frac{GM}{R^2}$

$$\begin{aligned} \therefore g_p - g_c &= a_c = \frac{v^2}{R} = \frac{\omega^2 R^2}{R} = \omega^2 \cdot R = \frac{(2\pi)^2}{T^2} \cdot R \\ &= \frac{4 \times (3.14)^2 \times 6.37 \times 10^6}{(8.64 \times 10^4)^2} \text{ ms}^{-2} = 3.37 \times 10^{-2} \text{ ms}^{-2}. \end{aligned}$$

● অভিকর্ষজ ত্বরণের গড় মান (Mean value of acceleration due to gravity) :

নিম্নে সি.জি.এস. এবং এস.আই. পদ্ধতিতে পৃথিবীপৃষ্ঠে g -এর গড় আসন্ন মান দেওয়া হল।

সি.জি.এস. পদ্ধতিতে $g = 980 \text{ cms}^{-2}$

এস.আই. পদ্ধতিতে $g = 9.8 \text{ ms}^{-2}$ ।

2.7. বস্তুর ভার বা ওজন (Weight of a body) :

কোনো বস্তুকে হাতের উপর রাখলে আমরা নিম্নাভিমুখী বল অনুভব করি। বস্তু খুব ভারী হলে এই বল এত বেশি হয় যে আমরা হাতের উপর বস্তুটিকে রাখতে পারি না। কেন এই বল অনুভূত হয়? কারণ পৃথিবী বস্তুকে আকর্ষণ করে। বস্তুর উপর পৃথিবীর অভিকর্ষীয় আকর্ষণই বস্তুর ওজন।

সংজ্ঞা : বস্তুর উপর পৃথিবী মোট যে অভিকর্ষীয় বল প্রয়োগ করে সেটাই বস্তুর ওজন।

মনে রাখতে হবে, ওজন কার্যত একটি বল। cgs পদ্ধতিতে ওজনের একক dyne অথবা gf এবং SI পদ্ধতিতে newton অথবা kgf.

আমরা নিউটনের দ্বিতীয় সূত্র হতে জানি, বল = ভর \times ত্বরণ।

কাজেই, কোনো বস্তুর উপর অভিকর্ষীয় বল অথবা ওজন মাপতে গেলে বস্তুর ভরকে অভিকর্ষজ ত্বরণ দ্বারা গুণ করতে হবে। বস্তুর ওজন, $W = \text{ভর} \times \text{অভিকর্ষজ ত্বরণ} = m \times g$.

● ভর ও ওজনের পার্থক্য (Difference between mass and weight) :

সাধারণভাবে আমরা বস্তুর ওজন এবং ভরের ভিতর পার্থক্য করি না। যে বস্তুর ওজন 30 কিলোগ্রাম বলি তার ভর বলতেও 30 কিলোগ্রাম বলা হয়। প্রকৃতপক্ষে দুটি সম্পূর্ণ আলাদা জিনিস। এদের পার্থক্য নিম্নে বলা হল :

(ক) ভর বলতে বস্তুর ভিতর কতটা জড় পদার্থ (matter) আছে তা বুঝায় কিন্তু ওজন কার্যত একটি বল—যে বলের দ্বারা পৃথিবী বস্তুকে আকর্ষণ করে।

(খ) বস্তুর ভরকে g -এর মান দিয়ে গুণ করলে ওজন পাওয়া যায়। কাজেই ভর ও ওজন সমান হতে পারে না। যেমন, কোনো বস্তুর ভর 2 kg হলে, তার ওজন হবে $2 \times 9.8 = 19.6 \text{ newton}$ ।

(গ) ওজনের মান ও অভিমুখ আছে—কাজেই ওজন ভেক্টর রাশি, কিন্তু ভরের শুধু মান আছে, ভর স্কেলার রাশি।

(ঘ) বস্তুকে যেখানেই নিয়ে যাওয়া হোক তার ভর একই থাকবে। কিন্তু পৃথিবীর বিভিন্ন স্থানে g -এর মান বিভিন্ন বলে বস্তুর ওজন বিভিন্ন হবে। যেমন পর্বতের চূড়ায় কোনো বস্তুর ওজন ভূপৃষ্ঠের চাইতে কম। পৃথিবীর কেন্দ্রে g -এর মান শূন্য বলে কোনো বস্তুকে পৃথিবীর কেন্দ্রে নিয়ে গেলে তা ওজন-শূন্য হবে কিন্তু ভর অপরিবর্তিত থাকবে।

তাছাড়া, পৃথিবী থেকে গ্রহান্তরে বা চন্দ্রে কোনো বস্তু নিয়ে গেলে তার ওজনের তারতম্য হবে কিন্তু ভর ঠিক থাকবে ; কারণ অন্যান্য গ্রহ বা চাঁদের ভর পৃথিবীর ভর অপেক্ষা ভিন্ন বলে তাদের অভিকর্ষীয় আকর্ষণও ভিন্ন হবে। যেমন, পৃথিবীতে কোনো বস্তুর ওজন চন্দ্রপৃষ্ঠে প্রায় ছয় ভাগের এক ভাগ হয়ে যাবে। যদি হঠাৎ কোনো কারণে অভিকর্ষীয় আকর্ষণ লুপ্ত হয় তবে সকল বস্তুই ওজনহীন হবে কিন্তু প্রত্যেক বস্তুর ভর অপরিবর্তিত থাকবে।

বস্তুর গতি, স্থিতি, তাপমাত্রা, তড়িতাবস্থা, চুম্বকত্ব প্রভৃতি বস্তুর ভরকে প্রভাবিত করতে পারে না বলে ভরকে বস্তুর স্বকীয় বা অপরিহার্য ধর্ম (intrinsic property) হিসাবে গণ্য করা হয়। কিন্তু ওজন বস্তুর স্বকীয় ধর্ম নয়, কারণ ওজন পরিবর্তনীয়।

তবে বিশ্ববিখ্যাত বিজ্ঞানী আইনস্টাইন কর্তৃক উপস্থাপিত আপেক্ষিক তত্ত্বের (theory of relativity) দ্বারা প্রমাণ করা যায় যে বস্তুর গতিবেগ আলোকের গতিবেগের কাছাকাছি হলে বস্তুর ভর পরিবর্তিত হয়। কিন্তু সাধারণ ক্ষেত্রে বস্তুর গতিবেগ অনেক কম হওয়ায় এই পরিবর্তন গ্রাহ্য নয়।

মনে রাখতে হবে বস্তুর ওজন এবং ভর সম্পূর্ণ আলাদা জিনিস।

2.8. বলের অভিকর্ষীয় একক (Gravitational unit of force):

পদার্থবিজ্ঞান পরিচয় প্রথমখন্ডে বলের পরম (absolute) এককের কথা বলা হয়েছে। বলের আরও একটি একক আছে। এই একক অভিকর্ষ সূত্রের উপর প্রতিষ্ঠিত বলে একে অভিকর্ষীয় একক বলে।

(i) সি.জি.এস. পদ্ধতিতে এই এককের নাম—গ্রাম-ভার (gram-weight)।

সংজ্ঞা : এক গ্রাম ভরসম্পন্ন বস্তু যে বলের দ্বারা পৃথিবী কর্তৃক আকর্ষিত হয় তাকে 1 গ্রাম-ভার বলে। একে অনেক সময় ‘এক গ্রাম বল’ (force of 1 g) এই নামেও অভিহিত করা হয় এবং 1 gf রূপে লেখা হয়।

1 গ্রাম-ভার = 1 গ্রাম $\times g = g$ ডাইন = 980 ডাইন (প্রায়)।

(ii) এস্.আই. পদ্ধতিতে বলের মহাকর্ষীয় এককের নাম কিলোগ্রাম-ভার (kg-wt)।

সংজ্ঞা : এক কিলোগ্রাম ভরসম্পন্ন বস্তু যে বলের দ্বারা পৃথিবী কর্তৃক আকর্ষিত হয় তাকে 1 কিলোগ্রাম-ভার বলে। একে অনেক সময় ‘এক কিলোগ্রাম বল’ (force of 1 kg) বলা হয় এবং 1 kgf রূপে লেখা হয়।

1 কিলোগ্রাম-ভার = 1 কিলোগ্রাম $\times g = g$ নিউটন = 9.8 নিউটন।

2.9. (ক) পৃথিবীর ভর ও গড় ঘনত্ব (Mass and mean density of the earth):

ভর : পৃথিবীপৃষ্ঠের কোনো স্থানে অভিকর্ষজ ত্বরণ g হলে, ঐ স্থানে m ভরের একটি বস্তুর ওজন $= mg$; আবার পৃথিবীর ভর ও ব্যাসার্ধ যথাক্রমে M এবং R হলে, ঐ বস্তুর উপর পৃথিবীর অভিকর্ষীয়

আকর্ষণ বল $= \frac{G.M.m}{R^2}$;

বস্তুর উপর পৃথিবীর অভিকর্ষীয় আকর্ষণ-বলই বস্তুর ওজন। অতএব, $mg = \frac{G.M.m}{R^2}$; $\therefore M = \frac{gR^2}{G}$.
 $g = 9.8 \text{ ms}^{-2}$; $R = 6.37 \times 10^6 \text{ m}$. এবং $G = 6.67 \times 10^{-11} \text{ (S.I.)}$ ধরলে,

$$M = \frac{9.8 \times (6.37 \times 10^6)^2}{6.67 \times 10^{-11}} = 5.96 \times 10^{24} \text{ kg}$$

গড় ঘনত্বঃ পৃথিবীকে সর্বত্র সমঘনত্বের নিরেট গোলক ধরে নিলে এবং ঐ ঘনত্ব ρ হলে,

$$M = \frac{4}{3} \pi R^3 \rho \quad \text{অতএব,} \quad \frac{4}{3} \pi R^3 \cdot \rho = \frac{gR^2}{G} \quad \therefore \rho = \frac{3g}{4\pi RG}$$

R , G এবং g -এর মান বসালে, $\rho = 5520 \text{ kgm}^{-3}$ পাওয়া যায়। কিন্তু পৃথিবীর ঘনত্ব সর্বত্র সমান নয়।
উর্ধ্বস্তরে পৃথিবীর উপাদানের ঘনত্ব মাত্র 2700 kgm^{-3} ; অতএব নিম্নস্তরের ঘনত্ব 5520 kgm^{-3} অপেক্ষা বেশি।

➤ (খ) সূর্যের ভর (Mass of the sun):

সূর্যের চতুর্দিকে পৃথিবীর পরিভ্রমণ কাল (period of revolution) থেকে সূর্যের ভর হিসাব করা যায়। ধরো, পৃথিবী সূর্যের চতুর্দিকে ω কৌণিক বেগ নিয়ে পরিভ্রমণ করছে। পৃথিবীর আবর্তগতির জন্য প্রয়োজনীয় অভিকেন্দ্র বল ($M_e \omega^2 r$) পৃথিবীর উপর সূর্যের মহাকর্ষীয় আকর্ষণ থেকে উদ্ভূত হয়। অতএব পৃথিবীর

$$\text{আবর্তগতির বেলায় লেখা যায়,} \quad \frac{GM_s M_e}{r^2} = M_e \omega^2 r \quad \text{অথবা,} \quad M_s = \frac{r^3 \cdot \omega^2}{G}$$

এখানে, M_s = সূর্যের ভর; M_e = পৃথিবীর ভর এবং r = সূর্যের কেন্দ্র থেকে পৃথিবীর কেন্দ্রের দূরত্ব।

$$\text{সূর্যের চতুর্দিকে পৃথিবীর পরিভ্রমণ কাল } T \text{ হলে, } \omega = \frac{2\pi}{T}; \quad \text{অতএব, } M_s = \frac{4\pi^2 r^3}{T^2 G};$$

$$T = 365 \text{ দিন}; \quad r = 1.5 \times 10^{11} \text{ m} \quad \text{এবং} \quad G = 6.70 \times 10^{-11} \text{ ধরে নিলে,}$$

$$M_s = \frac{4\pi^2 \times (1.5 \times 10^{11})^3}{(365 \times 24 \times 3600)^2 \times 6.70 \times 10^{-11}} = 1.99 \times 10^{30} \text{ kg (প্রায়)}।$$

সূর্যের ভর এবং পৃথিবীর ভর তুলনা করলে দেখা যায় যে সূর্য পৃথিবী অপেক্ষা প্রায় তিন লক্ষ গুণ ভারী।

□ EXAMPLE □

পৃথিবীর ভর ও ব্যাসার্ধ চন্দ্রের ভর ও ব্যাসার্ধের তুলনায় যথাক্রমে 81 গুণ ও 4 গুণ বড় হলে তাদের পৃষ্ঠে অভিকর্ষজ ত্বরণের মানের তুলনা করো।

উঃ। কোনো গোলকের ভর M এবং ব্যাসার্ধ R হলে, ঐ গোলকের পৃষ্ঠে অভিকর্ষজ ত্বরণ

$$g = \frac{GM}{R^2} \quad \text{পৃথিবীর ক্ষেত্রে, } g_e = \frac{G \cdot M_e}{R_e^2} \quad \text{এবং চন্দ্রের ক্ষেত্রে } g_m = \frac{GM_m}{R_m^2};$$

$$\text{ভাগ দিলে, } \frac{g_e}{g_m} = \frac{M_e}{M_m} \times \left(\frac{R_m}{R_e} \right)^2; \quad \text{প্রদানুযায়ী, } \frac{M_e}{M_m} = 81 \quad \text{এবং} \quad \frac{R_m}{R_e} = \frac{1}{4}.$$

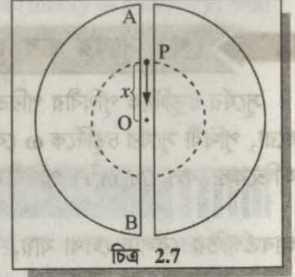
$$\therefore \frac{g_e}{g_m} = 81 \times \frac{1}{(4)^2} = 5.06.$$

2.10

পৃথিবীর কেন্দ্র দিয়ে অতিক্রান্ত সুড়ঙ্গের মধ্যে বস্তুর গতি (Motion of a body through a tunnel in the earth):

পৃথিবীর এপিঠ-ওপিঠ ভেদ করে এবং পৃথিবীর কেন্দ্রের ভিতর দিয়ে অতিক্রান্ত একটি ঘর্ষণবিহীন সরু সুড়ঙ্গ তৈরি করতে পারলে নিম্নলিখিতভাবে প্রমাণ করা যায় যে, কোনো বস্তু এই সুড়ঙ্গের ভিতর দিয়ে সরল দোলগতিতে এই ব্যাস বরাবর পৃথিবীর এক প্রান্ত হতে অপর প্রান্ত পর্যন্ত চলাচল করবে। এই কারণে অনেক সময় পৃথিবীকে ‘তলহীন কূপ’ (bottomless well) বলা হয়।

মনে করো, পৃথিবীর কেন্দ্রের ভিতর দিয়ে পৃথিবীর একপ্রান্ত হতে অপরপ্রান্ত পর্যন্ত একটি ঘর্ষণবিহীন সরু সুড়ঙ্গ AB তৈরি করা হল এবং m ভরের একটি বস্তুকে এই সুড়ঙ্গের ভিতর ফেলা হল। ধর, কোনো সময়ে বস্তুটি পৃথিবীর কেন্দ্র হতে x দূরে P বিন্দুতে উপস্থিত হল [চিত্র 2.7]। এই অবস্থানে বস্তুটি পৃথিবীর কেন্দ্রাভিমুখী একটি আকর্ষণ বল অনুভব করবে। আমরা যদি O বিন্দুকে কেন্দ্র করে এবং x ব্যাসার্ধ নিয়ে একটি গোলক আঁকি, তাহলে P বিন্দুতে অবস্থিত বস্তুর উপর গোলকই অভিকর্ষ-বল প্রয়োগ করবে— AP বেধের খোলক (shell) এই বস্তুর উপর কোনো অভিকর্ষ-বল প্রয়োগ করবে না; কারণ খোলক মধ্যস্থিত কোনো বস্তুর উপর খোলক কোনো অভিকর্ষ-বল প্রয়োগ করে না।



চিত্র 2.7

এখন, পৃথিবীকে ρ ঘনত্বের সমসত্ত্ব গোলক মনে করলে, m বস্তুর উপর প্রযুক্ত বল

$$F = \frac{G \times x\text{-ব্যাসার্ধের গোলকের ভর} \times m}{x^2} = \frac{G \times \frac{4}{3}\pi x^3 \rho \times m}{x^2} = \frac{4}{3}\pi G \rho m x.$$

$$\text{বস্তুর ত্বরণ } a = \frac{F}{m} = \frac{\frac{4}{3}\pi G \rho m x}{m} = \frac{4}{3}\pi G \rho x.$$

দেখা যাচ্ছে যে, ত্বরণ $a \propto x$ এবং এই ত্বরণ PO বরাবর পৃথিবীর কেন্দ্রাভিমুখী। গতির এই দুটি শর্ত সরল দোলগতির প্রধান শর্ত; সুতরাং বস্তুটি পৃথিবীর কেন্দ্রবিন্দুকে মধ্য অবস্থানে (mean position) রেখে পৃথিবীর একপ্রান্ত হতে অপর প্রান্ত পর্যন্ত সরল দোলগতিতে দুলতে থাকবে। এখন, উপরিউক্ত দোলনের

$$\text{দোলনকাল } T \text{ হলে, } T = 2\pi \sqrt{\frac{\text{সরণ}}{\text{ত্বরণ}}} = 2\pi \sqrt{\frac{x}{\frac{4}{3}\pi G \rho x}} = 2\pi \sqrt{\frac{3}{4\pi G \rho}}$$

[প্রথমথণ্ডে, সরল দোলগতি অধ্যায়ের 2.7 অনুচ্ছেদ দেখো।]

আবার, পৃথিবীপৃষ্ঠে অভিকর্ষজ ত্বরণ g হলে, 2.9(ক) অনুচ্ছেদ অনুযায়ী $\rho = \frac{3g}{4\pi R G}$

$$\text{অতএব } T = 2\pi \sqrt{\frac{3}{4\pi G} \times \frac{4\pi R G}{3g}} = 2\pi \sqrt{\frac{R}{g}}$$

পৃথিবীর ব্যাসার্ধ $R = 6400 \text{ km}$ এবং ভূপৃষ্ঠে অভিকর্ষজ ত্বরণ $g = 9.8 \text{ ms}^{-2}$ ধরলে

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{6400 \times 10^3}{9.8}} \text{ s} = 84 \text{ min. } 40 \text{ s (প্রায়)}$$

সূত্রাং, সুড়ঙ্গা বরাবর বস্তুটি $\frac{T}{2}$ অথবা 42 mnt 20 s সময়ে পৃথিবীর এক প্রান্ত হতে অপর প্রান্তে যাবে।

2.11.

মহাকর্ষীয় ক্ষেত্র-প্রাবল্য ও বিভব (Gravitational field intensity and potential):

কোনো বস্তু বা বস্তুগোষ্ঠীর চতুর্দিকে যতদূর পর্যন্ত ঐ বস্তু বা বস্তুগোষ্ঠীর মহাকর্ষীয় আকর্ষণ অনুভূত হয় সেই স্থানকে ঐ বস্তু বা বস্তুগোষ্ঠীর মহাকর্ষীয় ক্ষেত্র বলে।

গাণিতিক নিয়মানুযায়ী এই ক্ষেত্র অসীম পর্যন্ত বিস্তৃত কিন্তু কার্যত দেখা যায় একটি নির্দিষ্ট দূরত্ব পর্যন্ত বস্তু বা বস্তুসমূহ তার আকর্ষণজনিত প্রভাব বিস্তার করে; তারপর আর কোনো প্রভাব দেখা যায় না।

ক্ষেত্রের প্রাবল্য : মহাকর্ষীয় ক্ষেত্রের কোনো বিন্দুতে একটি একক ভর (unit mass) রাখলে, ঐ ভর যে আকর্ষণ বল অনুভব করবে, ঐ বলই হবে উক্ত মহাকর্ষীয় ক্ষেত্রের ঐ বিন্দুর প্রাবল্য।

M ভরের কোনো বস্তু থেকে r দূরে একটি একক ভর রাখলে সে যে আকর্ষণ বল অনুভব করবে, মহাকর্ষ সূত্রানুযায়ী তা $\frac{G.M \times 1}{r^2} = \frac{GM}{r^2}$ । অতএব, ঐ বিন্দুতে ক্ষেত্র-প্রাবল্য $E = \frac{GM}{r^2}$ ।

ক্ষেত্রপ্রাবল্যের একক নিউটন / কেজি (Nkg^{-1})।

মহাকর্ষীয় বিভব : অসীম থেকে একটি একক ভরকে মহাকর্ষীয় ক্ষেত্রের কোনো বিন্দুতে আনতে যে কার্য করা হয়, তাকে ঐ বিন্দুর মহাকর্ষীয় বিভব বলে।

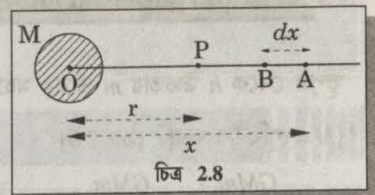
O বিন্দুতে M ভরের একটি বস্তু আছে [চিত্র 2.8]। O বিন্দু থেকে r দূরে একটি বিন্দু P নেওয়া হল। P বিন্দুতে মহাকর্ষীয় বিভব নির্ণয় করতে হবে। ধরো, O বিন্দু থেকে x দূরে A বিন্দুতে একটি একক ভর রাখা হল। মহাকর্ষ সূত্রানুযায়ী A বিন্দুর একক ভর এবং O বিন্দুর M ভরের ভিতর আকর্ষণ বল

$$F = \frac{G \times M \times 1}{x^2} = \frac{G.M}{x^2}$$

একক ভর যদি A বিন্দু থেকে dx দূরত্ব সরে B বিন্দুতে আসে, তবে মহাকর্ষীয় বল কর্তৃক কৃতকার্য $dW = F.dx$

$$= \frac{GM}{x^2} . dx$$

একক ভরকে অসীম দূরত্ব থেকে P বিন্দুতে আনতে যদি মোট কার্য W হয় তবে



$$W = \int dW = \int_{\infty}^r \frac{GM}{x^2} dx = GM \int_{\infty}^r \frac{1}{x^2} dx = -GM \left[\frac{1}{x} \right]_{\infty}^r = -GM \left[\frac{1}{r} - \frac{1}{\infty} \right] = -\frac{GM}{r}$$

বিভবের সংজ্ঞা অনুযায়ী, উক্ত কার্য P -বিন্দুর বিভবের (V) সমান। অতএব P বিন্দুর মহাকর্ষীয় বিভব

$$V = -\frac{GM}{r}$$

মহাকর্ষীয় বিভব ঋণাত্মক কারণ একক ভরকে অসীম দূরত্ব থেকে P বিন্দুতে আনতে মহাকর্ষীয় আকর্ষণ বলই কার্য করে; বাইরে থেকে কার্য করার প্রয়োজন হয় না। মহাকর্ষীয় বিভবের একক জুল / কেজি (Jkg^{-1})।

পৃথিবীকে M ভরের একটি গোলক মনে করলে, পৃথিবীপৃষ্ঠে মহাকর্ষীয় বিভব হবে $V = -\frac{GM}{R}$
যেখানে R = পৃথিবীর ব্যাসার্ধ।

2.12.

মহাকর্ষীয় বিভবশক্তি বা স্থিতিশক্তি (Gravitational potential energy):

M ভরের মহাকর্ষীয় ক্ষেত্রে এক বিন্দু থেকে অন্য এক বিন্দুতে মহাকর্ষীয় বলের বিরুদ্ধে m ভরকে সরাতে হলে, বাইরে থেকে কিছু কার্য করতে হয়। এই কার্য m ভরে মহাকর্ষীয় স্থিতিশক্তিরূপে সঞ্চিত থাকে।

ধরো, M ভরের মহাকর্ষীয় ক্ষেত্রে P বিন্দুতে m ভরের একটি বস্তু রাখা আছে [চিত্র 2.8]। M ভরের কেন্দ্র O বিন্দু থেকে P বিন্দুর দূরত্ব $= r$

যখন m ভর A বিন্দুতে (দূরত্ব $= x$) অবস্থিত তখন M ভরের দরুন তার উপর আকর্ষণ বল

$$F = \frac{GMm}{x^2}$$

এবার m ভর A বিন্দু থেকে dx দূরত্ব সরে B বিন্দুতে এলে, কৃতকার্য $dW = F \cdot dx = \frac{GMm}{x^2} \cdot dx$

$$m \text{ ভরকে অসীম দূরত্ব থেকে } P \text{ বিন্দুতে (} O \text{ বিন্দু থেকে } r \text{ দূরে) আনতে মোট কার্য } W = \int_{\infty}^r \frac{GMm}{x^2} \cdot dx$$

$$= GMm \int_{\infty}^r \frac{1}{x^2} dx = -\frac{GMm}{r}$$

এই কার্য m ভরের বস্তুতে স্থিতিশক্তিরূপে সঞ্চিত থাকবে। অতএব M ভরের বস্তু থেকে r দূরে m ভরের মহাকর্ষীয় স্থিতিশক্তি $E = -G \frac{Mm}{r} \times m = \text{মহাকর্ষীয় বিভব} \times \text{ভর}$ ।

2.13.

ভূপৃষ্ঠের নিকটবর্তী অঞ্চলে মহাকর্ষীয় স্থিতিশক্তি (Gravitational potential energy near the surface of the earth):

$$\text{ভূপৃষ্ঠ থেকে } h \text{ উচ্চতায় } m \text{ ভরের মহাকর্ষীয় স্থিতিশক্তি } E = -\frac{GMm}{R+h}$$

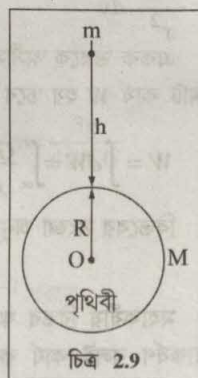
[M = পৃথিবীর ভর] [চিত্র 2.9]

$$= -\frac{GMm}{R(1+h/R)} = -\frac{GMm}{R} (1+h/R)^{-1} = -\frac{GMm}{R} \left[1 - \frac{h}{R} \right]$$

$R \gg h$ হওয়ায় $\frac{h}{R}$ -এর উচ্চতায় অগ্রাহ্য করা যায়।

$$\therefore E = -\frac{GMm}{R} + \frac{GMmh}{R^2}; \text{ কিন্তু } \frac{GM}{R^2} = g \text{ (অভিকর্ষজ ত্বরণ)}।$$

$$\therefore E = -\frac{GMm}{R} + mgh$$



চিত্র 2.9

আবার, $-\frac{GMm}{R} =$ ভূপৃষ্ঠে m ভরের মহাকর্ষীয় স্থিতিশক্তি। কিন্তু রীতি (convention) অনুযায়ী ভূপৃষ্ঠে মহাকর্ষীয় স্থিতিশক্তি শূন্য ধরা হয়। অতএব, $E = mgh$.

□ EXAMPLE □

1. একটি রকেটকে 5 kms^{-1} বেগ দিয়ে ভূপৃষ্ঠ থেকে ঝাড়া উর্ধ্বে নিক্ষেপ করা হল। রকেটটি পুনরায় ভূপৃষ্ঠের দিকে ফিরে আসার আগে কত উচ্চতা আরোহণ করবে? পৃথিবীর ভর $= 6 \times 10^{24} \text{ kg}$; পৃথিবীর গড় ব্যাসার্ধ $= 6.4 \times 10^6 \text{ m}$; $G = 6.6 \times 10^{-11} \text{ S.I.}$

উঃ। ধরো, রকেটের প্রাথমিক গতিবেগ $= v$ এবং রকেট ভূপৃষ্ঠ থেকে h উচ্চতা আরোহণ করল।

$$\text{ভূপৃষ্ঠে থাকাকালীন রকেটের মোট শক্তি} = \text{গতিশক্তি} + \text{স্থিতিশক্তি} = \frac{1}{2}mv^2 - \frac{GMm}{R}$$

$$\text{সর্বোচ্চ বিন্দুতে } v = 0 \text{ হওয়ায় গতিশক্তি} = 0 \text{ এবং স্থিতিশক্তি} = \frac{GMm}{R+h}$$

$$\text{শক্তি সংরক্ষণ সূত্রানুযায়ী, } \frac{1}{2}mv^2 - \frac{GMm}{R} = 0 - \frac{GMm}{R+h}$$

$$\text{অথবা, } \frac{GMm}{R+h} = \frac{GMm}{R} - \frac{1}{2}mv^2$$

$$” \quad \frac{GM}{R+h} = \frac{GM - 0.5Rv^2}{R}$$

$$” \quad \frac{R+h}{R} = \frac{GM}{GM - 0.5Rv^2}$$

$$\text{উভয়দিক থেকে 1 বিয়োগ দিলে, } \frac{h}{R} = \frac{0.5R.v^2}{GM - 0.5Rv^2}$$

$$\begin{aligned} \text{অথবা, } h &= \frac{0.5R^2.v^2}{GM - 0.5Rv^2} = \frac{0.5 \times (6.4 \times 10^6)^2 (5 \times 10^3)^2}{(6.67 \times 10^{-11} \times 6 \times 10^{24}) - 0.5 \times 6.4 \times 10^6 \times (5 \times 10^3)^2} \\ &= 1.6 \times 10^6 \text{ m (প্রায়)।} \end{aligned}$$

2.14. ➤ গ্রহ ও উপগ্রহের গতি (Motion of planets and satellites)

মানবসভ্যতার অতি প্রাচীনকাল থেকে আকাশের গ্রহ-নক্ষত্রাদি সম্বন্ধে বিজ্ঞানীরা কৌতূহল প্রকাশ করে এসেছেন। ষোড়শ শতাব্দীর মধ্যভাগে ডেনমার্কের বিশিষ্ট জ্যোতির্বিদ টাইকোব্রেই মঙ্গলগ্রহের গতিবিধি লক্ষ করে কয়েকটি প্রয়োজনীয় তথ্য সংগ্রহ করেছিলেন। পরবর্তীকালে 1609 খ্রিস্টাব্দে ঐ তথ্যগুলির সহায়তায় এবং আরও কিছু পর্যবেক্ষণের পর ডেনমার্কের আর একজন জ্যোতির্বিদ জোহানেস কেপলার উপলব্ধি করলেন যে গ্রহগুলি কোনো এক বলের প্রভাবে সূর্যকে কেন্দ্র করে অবিরত ঘুরছে। তিনি গ্রহের গতি সম্পর্কে কয়েকটি গুরুত্বপূর্ণ সূত্রের প্রস্তাব করেন। আরও পরে সপ্তদশ শতাব্দীর মধ্যভাগে বিশ্ববিশ্রুত বিজ্ঞানী স্যার আইজাক নিউটন মহাকর্ষ সূত্র প্রতিষ্ঠা করেন এবং বলেন গ্রহগুলি সূর্যের মহাকর্ষ বলের অধীনে থেকে নিজ নিজ কক্ষপথে আবর্তন করে।

● কেপলারের সূত্রাবলি (Kepler's laws of planetary motion) :

1. সূর্যকে একটি ফোকাসে রেখে প্রতিটি গ্রহ উপবৃত্তাকার কক্ষপথে পরিভ্রমণ করে।

(The path of each planet is an elliptical orbit with the sun at one of its focii).

2. সূর্য ও গ্রহের সংযোজক সরলরেখা (একে বলা হয় দূরক) সমান অবকাশে সমান ক্ষেত্রফল অতিক্রম করে—অর্থাৎ একক সময়ে অতিক্রান্ত ক্ষেত্রফল ধ্রুবক।

(The radius vector, drawn from the sun to a planet sweeps out equal area in equal time i.e., the area swept out per unit time is constant).

3. সূর্যের চতুর্দিকে প্রত্যেক গ্রহের আবর্তনকালের বর্গ সূর্য থেকে ঐ গ্রহের গড় দূরত্বের ঘ্রিঘাতের সমানুপাত।

(The square of the period of revolution of a planet round the sun is proportional to the cube of its mean distance from the sun.)

T , যদি কোনো গ্রহের আবর্তনকাল হয় এবং সূর্য থেকে ঐ গ্রহের গড় দূরত্ব হয় r তবে তৃতীয় সূত্রানুযায়ী, $T^2 \propto r^3$ অথবা, $\frac{T^2}{r^3} = \text{ধ্রুবক}$;

● গ্রহের প্রদক্ষিণ বেগ ও প্রদক্ষিণ কাল :

সূর্যের চতুর্দিকে গ্রহগুলি বৃত্তাকার কক্ষপথে (প্রকৃতপক্ষে কক্ষপথগুলি উপবৃত্তাকার) পরিভ্রমণ করে ধরে নিলে* মহাকর্ষ সূত্রের প্রয়োগে আমরা গ্রহগুলির দ্রুতি এবং পর্যায়কাল নির্ণয় করতে পারি। ধরা যাক m ভরের একটি গ্রহ সূর্যকে (M) কেন্দ্র করে r ব্যাসার্ধের বৃত্তপথে পরিভ্রমণ করছে [চিত্র 2.10]। এখন কোনো বস্তুকে বৃত্তাকার পথে পরিভ্রমণ করতে হলে, তার উপর অভিকেন্দ্র বল প্রয়োগ করতে হবে। গ্রহের বেলায় এই অভিকেন্দ্র বল আসে সূর্যের মহাকর্ষ বল থেকে। যদি গ্রহের দ্রুতি

v হয়, তবে এই অভিকেন্দ্র বল $F = \frac{mv^2}{r}$; আবার, সূর্যের ভর

M হলে, মহাকর্ষীয় বা অভিকেন্দ্র বল $= \frac{G.M.m}{r^2}$.

অতএব, $G \cdot \frac{Mm}{r^2} = \frac{mv^2}{r}$ অথবা, $v = \sqrt{\frac{G.M}{r}}$ (i)

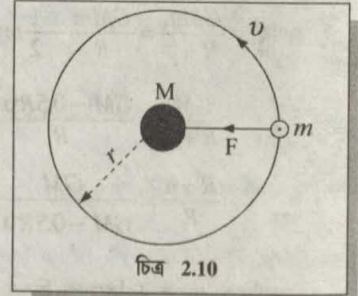
এটাই গ্রহের কক্ষপথ বরাবর দ্রুতি। একে গ্রহের প্রদক্ষিণ বেগ (orbital velocity) বলা হয়।

সমগ্র কক্ষপথ একবার ঘুরে আসতে যদি গ্রহের T সময় লাগে, তবে, $v = \frac{2\pi r}{T}$ (ii)

(i) এবং (ii) নং সমীকরণের বর্গ নিলে পাই, $\frac{4\pi^2 r^2}{T^2} = \frac{GM}{r} \therefore T^2 = \left(\frac{4\pi^2}{GM} \right) \cdot r^3$ (iii)

G এবং M ধ্রুবরাশি হওয়ায়, $T^2 \propto r^3$ অর্থাৎ, সূর্যের চতুর্দিকে গ্রহের আবর্তনকালের বর্গ সূর্য হতে গ্রহের দূরত্বের ঘ্রিঘাতের সমানুপাত। এটাই কেপলারের তৃতীয় সূত্র। লক্ষ করো যে, গ্রহের প্রদক্ষিণ বেগ বা প্রদক্ষিণ কাল গ্রহের ভরের উপর নির্ভরশীল নয়।

(iii) নং সমীকরণ থেকে এটাও বোঝা যায় যে r যত ছোটো হবে অর্থাৎ গ্রহ সূর্যের যত নিকটবর্তী হবে তার পর্যায়কাল অথবা তার ‘বৎসরের’ দৈর্ঘ্য তত কম হবে। সূর্যের নিকটবর্তী গ্রহগুলির ‘বৎসর’



চিত্র 2.10

* কক্ষপথগুলি উপবৃত্তাকার। কিন্তু উপবৃত্তের দীর্ঘাক্ষ (major axis) এবং ছুঁহাক্ষের (minor axis) পার্থক্য এত কম যে কক্ষপথগুলিকে কার্যত বৃত্ত বলে ধরা যায়।

দূরবর্তী গ্রহগুলির ‘বৎসর’ অপেক্ষা কম। যেমন, পৃথিবীর ‘বৎসর’ হয় 12 মাসে কিন্তু সূর্য থেকে বহুদূরে অবস্থিত প্লুটো গ্রহের ‘বৎসর’ হয় প্রায় 253×12 মাসে। আবার সূর্যের নিকটবর্তী গ্রহ শুক্রের (Venus) বৎসর হয় প্রায় সাড়ে সাত মাসে এবং সূর্যের সর্বাপেক্ষা নিকটবর্তী গ্রহ বুধের (Mercury) বৎসর হয় প্রায় তিন মাসে।

উপগ্রহগুলি তাদের নিজস্ব গ্রহের চতুর্দিক প্রদক্ষিণ করে। উপগ্রহগুলির অভিকেন্দ্র বল গ্রহের অভিকর্ষীয় আকর্ষণ থেকে আসে। একই পদ্ধতি অনুসারে এক্ষেত্রেও প্রমাণ করা যায় যে উপগ্রহের প্রদক্ষিণ কালের বর্গ গ্রহ হতে তার গড় দূরত্বের ত্রিঘাতের সমানুপাত।

□ EXAMPLES □

1. সূর্যের চতুর্দিকে পৃথিবীর বৃত্তাকার কক্ষপথের ব্যাসার্ধ $15 \times 10^7 \text{ km}$ । 365 দিনে এই কক্ষপথে পৃথিবী একবার ঘুরে এলে, পৃথিবীর দ্রুতি কিলোমিটার প্রতি ঘণ্টা এককে (kmh^{-1}) প্রকাশ করো।

$$\text{উঃ। } v = \frac{2\pi r}{T} = \frac{2 \times 3.14 \times 15 \times 10^7}{365 \times 24} = 10^5 \text{ kmh}^{-1}।$$

2. পৃথিবীর চতুর্দিকে $3.8 \times 10^5 \text{ km}$ ব্যাসার্ধের এক বৃত্তপথে চাঁদ একবার পরিভ্রমণ করতে 27 দিন সময় নেয়। সূর্যের চতুর্দিকে $1.5 \times 10^8 \text{ km}$ ব্যাসার্ধের অপর এক বৃত্তপথে পৃথিবী পরিভ্রমণ করতে 365 দিন সময় নেয়। এথেকে সূর্য ও পৃথিবীর ভরদ্বয়ের অনুপাত নির্ণয় করো। [Jt. Entrance 1997]

উঃ। ধরো, M_s = সূর্যের ভর; M_e = পৃথিবীর ভর; r_1 = সূর্য হতে পৃথিবীর দূরত্ব এবং T_1 = পৃথিবীর প্রদক্ষিণ কাল। 2.14 অনুচ্ছেদের (iii) নং সমীকরণ থেকে লেখা যায় $T_1^2 = \left(\frac{4\pi^2}{GM_s} \right) \cdot r_1^3$

পৃথিবী থেকে চাঁদের দূরত্ব r_2 এবং চাঁদের প্রদক্ষিণ কাল T_2 হলে, $T_2^2 = \left(\frac{4\pi^2}{GM_e} \right) \cdot r_2^3$

$$\text{ভাগ দিলে, } \frac{T_2^2}{T_1^2} = \frac{M_s \cdot r_2^3}{M_e \cdot r_1^3} \quad \therefore \frac{M_s}{M_e} = \frac{T_2^2}{T_1^2} \times \frac{r_1^3}{r_2^3} = \left(\frac{T_2}{T_1} \right)^2 \times \left(\frac{r_1}{r_2} \right)^3$$

এস্থলে $T_2 = 27$ দিন; $T_1 = 365$ দিন; $r_1 = 1.5 \times 10^8 \text{ km}$ এবং $r_2 = 3.8 \times 10^5 \text{ km}$ ।

$$\therefore \frac{M_s}{M_e} = \left(\frac{27}{365} \right)^2 \times \left(\frac{1.5 \times 10^8}{3.8 \times 10^5} \right)^3 = 3.37 \times 10^5.$$

3. সূর্য থেকে পৃথিবীর দূরত্ব অকস্মাৎ বর্তমান দূরত্বের অর্ধেক হয়ে গেলে, এক বৎসর কত দিনে হবে?

উঃ। সূর্য হতে পৃথিবীর বর্তমান দূরত্ব r এবং বর্তমান প্রদক্ষিণ কাল T হলে, কেপলারের তৃতীয় সূত্র অনুযায়ী পাই, $T^2 = k \cdot r^3$ [k = ধ্রুবক]

যদি দূরত্ব অর্ধেক $\left(\frac{r}{2} \right)$ হয়ে যায়, তবে নতুন পর্যায়কাল $T_1 = k \left(\frac{r}{2} \right)^3 = k \cdot \frac{r^3}{8}$;

$$\text{ভাগ দিলে } \frac{T_1}{T} = \sqrt{\frac{1}{8}} = \frac{1}{2\sqrt{2}} \quad \therefore T_1 = \frac{T}{2\sqrt{2}}$$

বর্তমান পর্যায়কাল $T = 365$ দিন। কাজেই, $T_1 = \frac{365}{2\sqrt{2}} = 129$ দিন। অতএব বর্তমান দূরত্ব

অকস্মাৎ অর্ধেক হয়ে গেলে 129 দিনে এক বৎসর হবে।

2.15. মুক্তিবৈগ (Escape velocity) :

কোনো বস্তুকে উর্ধ্বে নিক্ষেপ করলে, পৃথিবীর অভিকর্ষের জন্য কিছুক্ষণ পরে বস্তুটি ভূপৃষ্ঠে ফিরে আসে। বস্তুকে কী এমন কোনো বেগে উৎক্ষেপ করা যায়, যাতে বস্তুটি আর ভূপৃষ্ঠে ফিরে না আসে? বলা বাহুল্য, এটা করতে গেলে বস্তুকে এমন বেগ দিতে হবে যাতে বস্তুটি পৃথিবীর অভিকর্ষ ক্ষেত্র ছাড়িয়ে মহাশূন্যে উধাও হয়ে যেতে পারে। যে ন্যূনতম বেগ দিলে বস্তু এই কার্য করতে সক্ষম হয়, তাকে মুক্তিবৈগ বলে।

সংজ্ঞা : পৃথিবী বা অন্য কোনো গ্রহের পৃষ্ঠ হতে কোনো বস্তুকে ন্যূনতম যে বেগে খাড়া উর্ধ্বে উৎক্ষেপ করলে তা পৃথিবী বা ঐ গ্রহের মহাকর্ষীয় আকর্ষণের বাইরে চলে যেতে পারে তাকে পৃথিবীর বা ঐ গ্রহের মুক্তিবৈগ বলে।

সাধারণ গণিতের সাহায্যে এই বেগ হিসাব করা খুবই জটিল। ক্যালকুলাস প্রয়োগ করলে খুব সহজে হিসাব করা যায়। পৃথিবীর ব্যাসার্ধ R এবং ভূপৃষ্ঠে অভিকর্ষজ ত্বরণ g হলে, পার্থিব বস্তুর পক্ষে মুক্তিবৈগ হবে, $v_e^* = \sqrt{2gR}$; লক্ষ করার বিষয় যে উক্ত সমীকরণে বস্তুর ভর m অন্তর্ভুক্ত হয়নি। কাজেই বলা যায়, মুক্তিবৈগ ছোটো-বড়ো সকল বস্তুর বেলাতেই সমান।

এখন, $R = 6400 \text{ km}$ এবং $g = 9.8 \text{ ms}^{-2}$ হলে, $v_e = 11.2 \text{ kms}^{-1}$. (প্রায়)

অতএব, পার্থিব কোনো বস্তুকে সেকেন্ডে প্রায় 11 km গতিবেগ দিয়ে উৎক্ষেপ করতে পারলে তা আর ভূপৃষ্ঠে ফিরে আসবে না। চন্দ্রপৃষ্ঠে অভিকর্ষজ ত্বরণ ভূপৃষ্ঠের ত্বরণের প্রায় ছয় ভাগের একভাগ। সুতরাং চন্দ্রপৃষ্ঠে কোনো বস্তুর মুক্তিবৈগ আরও কম। চন্দ্রপৃষ্ঠে মুক্তিবৈগ প্রায় 2.4 kms^{-1} .

***প্রমাণ :** ধরো, উৎক্ষিপ্ত বস্তুর ভর $= m$; পৃথিবীর ভর $= M$; কোনো এক মুহূর্ত পৃথিবীর কেন্দ্র থেকে উৎক্ষিপ্ত বস্তুর দূরত্ব $= x$; ঐ স্থানে বস্তুর উপর পৃথিবীর আকর্ষণ

$$\text{বল} = \frac{GMm}{x^2} \quad |$$

$$\text{বস্তু এই বলের বিরুদ্ধে সামান্য } dx \text{ দূরত্ব সরে গেলে কৃতকার্য} = \frac{GMm}{x^2} \cdot dx$$

$$\text{অতএব, বস্তুকে পৃথিবীর আকর্ষণের বাইরে নিলে মোট কৃতকার্য} = \int_R^\infty \frac{GMm}{x^2} \cdot dx = GMm \int_R^\infty \frac{1}{x^2} \cdot dx$$

$$= GMm \left[-\frac{1}{x} \right]_R^\infty = \frac{GMm}{R} \quad [R = \text{পৃথিবীর ব্যাসার্ধ}] ;$$

v_e যদি মুক্তিবৈগ হয়, তবে বস্তুর প্রাথমিক গতিশক্তি $= \frac{1}{2}mv_e^2$; স্পষ্টত এই গতিশক্তি হবে পূর্বোক্ত মোট

$$\text{কার্যের সমান। অতএব, } \frac{1}{2}mv_e^2 = \frac{GMm}{R} \text{ অথবা, } v_e = \sqrt{\frac{2GM}{R}}$$

g যদি ভূপৃষ্ঠে অভিকর্ষজ ত্বরণ হয়, তবে 2.5 অনুচ্ছেদে আমরা দেখেছি যে $g = \frac{GM}{R^2}$

$$\therefore v_e = \sqrt{2gR}$$

● মুক্তিবেরের বিকল্প ব্যাঞ্জক (Alternative expression of escape velocity) :

(i) পৃথিবীর ভর $= M$ এবং ব্যাসার্ধ $= R$ হলে, মুক্তিবের $v_e = \sqrt{\frac{2GM}{R}}$

(ii) পৃথিবীর গড় ঘনত্ব ρ হলে, পৃথিবীর ভর $M = \frac{4}{3}\pi R^3 \cdot \rho$, কাজেই

$$v_e = \sqrt{\frac{2GM}{R}} = \sqrt{\frac{2G}{R} \times \frac{4}{3}\pi R^3 \cdot \rho} = R\sqrt{\frac{8\pi G \cdot \rho}{3}}$$

গাণিতিক সমস্যা সমাধানে উপরোক্ত সমীকরণগুলি প্রায়ই প্রয়োজন হয়।

● মহাকর্ষীয় বন্ধনশক্তি (Gravitational binding energy) :

ইতিপূর্বে আমরা দেখলাম ভূপৃষ্ঠস্থ m ভরের বস্তুকে যদি $\frac{1}{2}mv_e^2 = \frac{GMm}{R}$ অথবা আরও বেশি শক্তি দেওয়া হয় তবে ঐ বস্তু ভূপৃষ্ঠ ত্যাগ করে বহু দূরে চলে যাবে।

কোনো বস্তুকে ভূপৃষ্ঠ থেকে অসীম দূরত্বে নিয়ে যেতে যে ন্যূনতম শক্তির প্রয়োজন তাকে পৃথিবী-বস্তু সংস্থার বন্ধনশক্তি বলে। সুতরাং পৃথিবী-বস্তু সংস্থার বন্ধনশক্তি $= GMm/R$ ।

● পৃথিবীর আবহমণ্ডলে হালকা গ্যাসের দুষ্প্রাপ্যতা :

পৃথিবীর আবহমণ্ডলে হাইড্রোজেন, হিলিয়াম প্রভৃতি হালকা গ্যাস খুবই দুষ্প্রাপ্য। এই ঘটনা আমরা মুক্তিবের থেকে ব্যাখ্যা করতে পারি। কোনো গ্রহে বায়ুমণ্ডলের অস্তিত্ব ও উপাদান তার মুক্তিবেরের উপর নির্ভর করে। বায়ুমণ্ডলের বিভিন্ন গ্যাসের অণু সর্বদা প্রচণ্ড বেগে ছুটে বেড়ায়। অণু যত হালকা হয় এবং উষ্ণতা যত বাড়ে ঐ বেগও তত বেশি হয়। হিসাব করে দেখা গেছে যে প্রমাণ তাপমাত্রা ও চাপে হাইড্রোজেন অণুর গতিবেগের গড় বর্গের বর্গমূল মান (root mean square value) প্রায় 1.6 kms^{-1} । কিন্তু পৃথিবী সৃষ্টির আদি যুগে ভূপৃষ্ঠের তাপমাত্রা খুব বেশি ছিল এবং তখনকার তাপমাত্রায় হাইড্রোজেন অণুর উপরিউক্ত গতিবেগ প্রায় 3.2 km কিংবা 4.8 kms^{-1} ছিল। সুতরাং এটা খুবই সম্ভব যে পৃথিবীর আবহমণ্ডলের হাইড্রোজেন গ্যাসের অণুগুলির বহুলাংশের একক (individual) গতিবেগ মুক্তিবেরের (11 kms^{-1}) সমান বা বেশি ছিল এবং কিছু অণুর গতিবেগ কম ছিল। ফলে, ধীরে ধীরে হাইড্রোজেন, হিলিয়াম প্রভৃতি হালকা ধরনের গ্যাসের অণুগুলি ভূপৃষ্ঠ ছেড়ে মহাশূন্যে বিলীন হয়ে গিয়েছে।

চাঁদের চতুর্দিকে পৃথিবীর মতো কোনো গ্যাসীয় আবরণ নেই। বুধ গ্রহেরও তাই, কারণ, চাঁদ বা বুধগ্রহের ভর তুলনায় অনেক কম বলে তাদের বেলায় মুক্তিবেরের মানও কম। গ্যাসীয় অণুগুলির গতিবেগ ঐ মুক্তিবের অপেক্ষা বেশি হওয়ায় তারা বুধ বা চন্দ্রপৃষ্ঠ হতে বিলীন হয়ে গেছে। এই কারণে অন্যান্য গ্রহগুলির উপগ্রহে ঐ ধরনের কোনো গ্যাসীয় আবহমণ্ডল নেই। আবার বৃহস্পতি গ্রহের ভর খুব বেশি হওয়ায় তার মুক্তিবেরও খুব বেশি (প্রায় 60 kms^{-1})। তাই বৃহস্পতি গ্রহের আবহমণ্ডলে প্রচুর হিলিয়াম ও হাইড্রোজেন আছে। উল্লেখযোগ্য যে পৃথিবীর চতুর্দিকে গ্যাসীয় আবহমণ্ডল থাকায় ভূপৃষ্ঠের তাপমাত্রা মানুষ ও জীবজন্তুর জীবনের পক্ষে সহনীয় হয়েছে।

2.16. কৃত্রিম উপগ্রহ (Artificial satellite):

১৯৫৭ খ্রিস্টাব্দের ৪ঠা অক্টোবর পূর্বতন সোভিয়েট যুক্তরাষ্ট্রের বিজ্ঞানীরা সর্বপ্রথম কৃত্রিম উপগ্রহ উৎক্ষেপ করেন। চাঁদ যেমন পৃথিবীকে প্রদক্ষিণ করে এটাও তেমনি পৃথিবীকে প্রদক্ষিণ করেছিল। তারপর, অবশ্য অন্যান্য দেশের বিজ্ঞানীরাও একাধিক কৃত্রিম উপগ্রহ উৎক্ষেপ করেছেন। ভারতের বিজ্ঞানীরাও ১৯৭৫ খ্রিস্টাব্দে এপ্রিল মাসে ‘আর্যভট্ট’ এবং ১৯৮০ খ্রিস্টাব্দে ‘ভাস্কর’ নামে কৃত্রিম উপগ্রহ মহাকাশে উৎক্ষেপ করেছেন।

ভূপৃষ্ঠ হতে কৃত্রিম উপগ্রহকে উৎক্ষেপ করার সময় খাড়া উর্ধ্বমুখী উৎক্ষেপ করা হয়। যত এটা উর্ধ্ব আরোহণ করে, নিয়ন্ত্রণকারী জেট দ্বারা তাকে ধীরে ধীরে তত একটি অনুভূমিক কক্ষপথের অভিমুখী করা হয়। চাঁদের মতো পৃথিবীর চতুর্দিক প্রদক্ষিণ করতে হলে, ঐ অনুভূমিক কক্ষপথে কৃত্রিম উপগ্রহের গতিবেগ কী হবে তা আমরা নিম্নলিখিত আলোচনা হতে বঝতে পারব।

মনে কর, ভূপৃষ্ঠ হতে একটি রকেট উর্ধ্বমুখী এরূপভাবে ছোড়া হল যে কয়েক শত মাইল উঁচু একটি মিনারের শীর্ষদেশে (P) পৌঁছোলে তার বেগ অনুভূমিক হয় [চিত্র 2.11]। নিক্ষেপ বেগ কম হলে নিক্ষিপ্ত বস্তু মোটামুটি অধিবৃত্ত পথে (parabolic path) ভূপৃষ্ঠের A-বিন্দুতে পৌঁছাবে। নিক্ষেপ বেগ আরও বেশি হলে বস্তুটি আরও বড়ো অধিবৃত্ত পথে ভূপৃষ্ঠের আরও দূরবর্তী B বিন্দুতে পৌঁছাবে। নিক্ষেপ বেগ বৃদ্ধি করে একটি নির্দিষ্ট মানে পৌঁছোলে বস্তুটি ভূপৃষ্ঠে না পড়ে বৃত্তাকার পথে পৃথিবী প্রদক্ষিণ করবে। তখন তাকে কৃত্রিম উপগ্রহ বলা হবে। যে বেগে কৃত্রিম উপগ্রহ পৃথিবী প্রদক্ষিণ করে সেই নির্দিষ্ট বেগকে বলা হয় **প্রদক্ষিণ বেগ** (orbiting velocity)। নিক্ষেপ বেগ প্রদক্ষিণ বেগকে ছাড়িয়ে গেলে বস্তুটি হয় উপবৃত্তাকার পথে পৃথিবী প্রদক্ষিণ করবে কিংবা মহাশূন্যে বলীন হয়ে যাবে। 2.14 অনুচ্ছেদে আমরা দেখেছি যে বৃত্তাকার পথে পরিভ্রমণরত বস্তুর বেলায় তার অভিকেন্দ্র বল ও মহাকর্ষ বলের সমীকরণ হতে ঘর্ণায়মান বস্তুর

চিত্র 2.11

প্রদক্ষিণ বেগ নির্ণয় করা যায়। ঐ অনুচ্ছেদ অনুযায়ী, উপগ্রহের প্রদক্ষিণ বেগ, $v = \sqrt{\frac{GM}{r}}$

[r = কৃত্রিম উপগ্রহের বৃত্তাকার কক্ষপথের ব্যাসার্ধ]

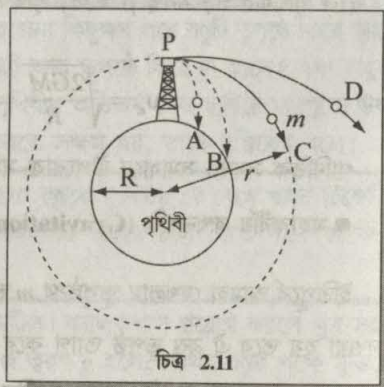
ভূপৃষ্ঠ হতে উপগ্রহের কক্ষপথের উচ্চতা h হলে $r = R + h$, অতএব, $v = \sqrt{\frac{GM}{R+h}} \dots (i)$

আবার উপগ্রহের প্রদক্ষিণ কাল T হলে, $v = \frac{2\pi(R+h)}{T} = \sqrt{\frac{GM}{R+h}}$

$$\therefore T = 2\pi\sqrt{\frac{(R+h)^3}{GM}} = 2\pi\sqrt{\frac{R^3}{GM}}\left(1 + \frac{h}{R}\right)^{\frac{3}{2}}$$

$$g = \frac{GM}{R^2} \text{ হওয়ায় } T = 2\pi \sqrt{\frac{R}{g}} (1 + h/R)^{3/2} \dots\dots\dots(ii)$$

(i) এবং (ii) সমীকরণগুলি হতে পাওয়া যাবে। লক্ষ্য করো যে, কৃত্রিম উপগ্রহের প্রদক্ষিণ বেগ ও প্রদক্ষিণ কাল উপগ্রহের ভরের উপর নির্ভরশীল নয়।



চিত্র 2.11

● ভূপৃষ্ঠের খুব নিকটবর্তী উপগ্রহ :

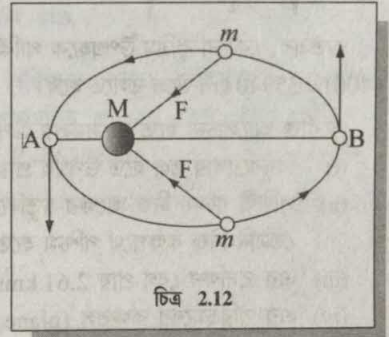
ভূপৃষ্ঠের খুব কাছে এবং নিরক্ষ তলে থেকে কোনো কৃত্রিম উপগ্রহ পৃথিবী প্রদক্ষিণ করলে, তার কক্ষপথের ব্যাসার্ধ (r) পৃথিবীর ব্যাসার্ধের (R) সমান ধরা যেতে পারে। এই বিশেষ ক্ষেত্রে, অভিকেন্দ্র বল F বস্তুর ওজন mg -এর সমান ধরা যায়।

$$\text{অতএব, } mg = G \frac{Mm}{R^2} \text{ অথবা, } GM = gR^2$$

$$\text{প্রদক্ষিণ বেগের সমীকরণে এই মান বসালে পাই, } v = \sqrt{\frac{gR^2}{r}} = \sqrt{gR} \quad [\because R = r]$$

● উপবৃত্তাকার কক্ষপথে প্রদক্ষিণ বেগ :

কৃত্রিম উপগ্রহের কক্ষপথ বৃত্তাকার না হয়ে উপবৃত্তাকার হলে, কক্ষপথের বিভিন্ন জায়গায় প্রদক্ষিণ বেগ বিভিন্ন হবে। 2.12 নং চিত্রে প্রদর্শিত উপবৃত্তাকার কক্ষপথে পরাক্ষের (major axis) বামপ্রান্তের A বিন্দুতে প্রদক্ষিণ বেগ সর্বাধিক এবং দক্ষিণ- প্রান্তের B বিন্দুতে সর্বনিম্ন। A বিন্দুকে বলা হয় অনুভূ (perigee) এবং B বিন্দুকে অপভূ (apogee)। উপগ্রহটি অনুভূ বিন্দু হতে যত দূরে সরে যায়, গ্রহের (M) পশ্চাদ্বেগী মহাকর্ষ বলের (F) প্রভাবে তার বেগ ধীরে ধীরে হ্রাস পায় এবং অপভূ বিন্দুতে (B) ঐ বেগ সর্বনিম্ন হয়। কক্ষপথের অপরার্ধে উপগ্রহটি গ্রহের নিকটবর্তী হতে থাকে এবং ক্রমবর্ধমান মহাকর্ষ বল তার প্রদক্ষিণ বেগকে ধীরে ধীরে দ্রুততর করতে থাকে যতক্ষণ পর্যন্ত না তা পুনরায় অনুভূ বিন্দুতে (A) পৌঁছে সর্বোচ্চ বেগের অধিকারী হয়।



চিত্র 2.12

2.17. ভূ-সমলয় উপগ্রহ (Geo-stationary satellite) এবং পার্কিং কক্ষপথ (Parking orbit) :

ধরো, পৃথিবীর কেন্দ্রের (O) সাথে এককেন্দ্রীভাবে বিষুবরেখার (plane of the equator) সমতলে m ভরের একটি কৃত্রিম উপগ্রহ পৃথিবী পরিক্রমা করছে [চিত্র 2.13]। পৃথিবী যে অভিমুখে নিজ অক্ষের চতুর্দিকে ঘুরছে, কৃত্রিম উপগ্রহটিও ধরা যাক, একই অভিমুখে ঘুরছে। উপগ্রহের কক্ষপথের ব্যাসার্ধ r হলে এবং

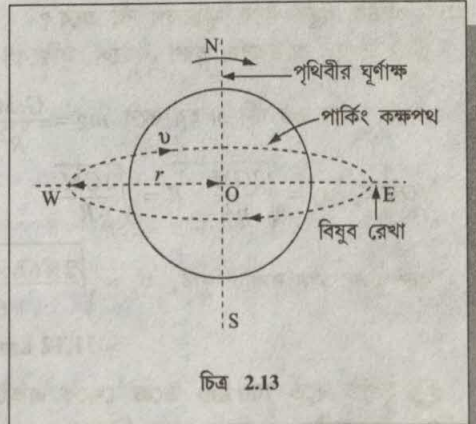
$$\text{কক্ষীয় গতিবেগ } v \text{ হলে, } \frac{mv^2}{r} = \frac{GMm}{r^2}$$

$$\text{যদি পৃথিবীর ব্যাসার্ধ হয় } R \text{ তবে, } GM = gR^2;$$

$$\text{কাজেই, } \frac{mv^2}{r} = \frac{mgR^2}{r^2} \text{ অথবা, } v^2 = \frac{gR^2}{r}$$

কৃত্রিম উপগ্রহের কক্ষপথ বরাবর আবর্তনকাল

$$T \text{ হলে } v = \frac{2\pi r}{T} \therefore \frac{4\pi^2 \cdot r^2}{T^2} = \frac{gR^2}{r}$$



চিত্র 2.13

$$\text{অথবা, } T^2 = \frac{4\pi^2 \cdot r^3}{g \cdot R^2} \dots\dots (i)$$

এখন কৃত্রিম উপগ্রহের উক্ত আবর্তনকাল যদি পৃথিবীর নিজ অক্ষের চতুর্দিকে আবর্তনকালের (অর্থাৎ 24 ঘণ্টা) সমান হয় তাহলে পৃথিবীর কৌণিক গতিবেগের সাপেক্ষে উপগ্রহের আপেক্ষিক কৌণিক গতিবেগ হবে শূন্য। তখন পৃথিবী হতে উপগ্রহকে এক জায়গায় স্থির দেখা যাবে। এই ধরনের কক্ষপথকে পার্কিং কক্ষপথ বলা হয় এবং উপগ্রহকে বলা হয় ভূ-সমলয় (geo-stationary) উপগ্রহ। পার্কিং কক্ষপথে রিলে উপগ্রহ স্থাপন করে পৃথিবীর একস্থানে অনুষ্ঠিত খেলাধুলা, গানবাজনা প্রভৃতি পৃথিবীর অন্যস্থানে ধারাবাহিকভাবে দূরদর্শন যোগে দেখানো হচ্ছে।

এখন $T = 24$ ঘণ্টা এই মান (i) নং সমীকরণে বসিয়ে পার্কিং কক্ষপথের ব্যাসার্ধ r নির্ণয় করা যায়।

$$r = \sqrt[3]{\frac{T^2 \cdot g \cdot R^2}{4\pi^2}} = \sqrt[3]{\frac{(24 \times 3600)^2 \times 980 \times (6.4 \times 10^8)^2}{4\pi^2}} \text{ cm.} = 42340 \text{ km (প্রায়)}$$

অতএব, কোনো কৃত্রিম উপগ্রহকে পার্কিং কক্ষপথে স্থাপন করতে হলে তাকে ভূপৃষ্ঠ হতে (42340 – 6400) = 35940 km উচ্চে তুলতে হবে।

পূর্বোক্ত আলোচনা হতে ভূ-সমলয় উপগ্রহের নিম্নলিখিত বৈশিষ্ট্য উল্লেখ করা যায় :

- বিসুবরেখার তল হতে উপগ্রহ প্রায় 35,940 km উর্ধ্বে অবস্থিত।
- পৃথিবী যেমন নিজ অক্ষের চতুর্দিকে পশ্চিম হতে পূবদিকে আবর্তন করে, ভূ-সমলয় উপগ্রহও তেমনি নিজ কক্ষপথে পশ্চিম হতে পূবদিকে ঘুরে আসে [চিত্র 2.13]।
- এর প্রদক্ষিণ বেগ প্রায় 2.61 kms^{-1} ।
- এর পরিভ্রমণের কক্ষতল (plane of orbit) সর্বদা পৃথিবীর ঘূর্ণাক্ষের অভিলম্ব।
- এর প্রদক্ষিণ কাল (অর্থাৎ পৃথিবীর চতুর্দিক একবার পূর্ণ আবর্তনের সময়) পৃথিবীর স্বীয় অক্ষের চতুর্দিকে একবার পূর্ণ প্রদক্ষিণ কালের সমান। এই প্রদক্ষিণ কাল 24 ঘণ্টা। এই কারণে ‘সমলয়’ (synchronous) নাম দেওয়া হয়েছে।

[স্রঃ ভারতীয় বিজ্ঞানীরা INSAT-1 নামে যে কৃত্রিম উপগ্রহ 1982 সালের এপ্রিল মাসে উৎক্ষেপ করেছেন, তা পূর্বোক্ত ধরনের ভূ-সমলয় উপগ্রহ। এটি পার্কিং কক্ষপথে পরিভ্রমণ করছে।]

□ EXAMPLES □

1. পৃথিবীর ব্যাসার্ধ 6400 km ; ভর $6 \times 10^{24} \text{ kg}$ এবং মহাকর্ষীয় ধ্রুবক $G = 6.6 \times 10^{-11} \text{ SI}$ হলে পার্থিব বস্তুর পক্ষে মুক্তিবৈগ কী হবে ?

উঃ। ভূপৃষ্ঠে অভিকর্ষজ ত্বরণ g হলে, মুক্তিবৈগ $v_e = \sqrt{2gR}$

$$\text{এখন, বস্তুর ভর যদি } m \text{ হয় তবে } mg = \frac{G \cdot Mm}{R^2} \therefore g = \frac{GM}{R^2}$$

$$\text{অতএব, } v_e = \sqrt{\frac{2GM}{R^2} \times R} = \sqrt{\frac{2GM}{R}}$$

$$\text{রাশিগুলির মান বসালে পাই, } v_e = \sqrt{\frac{2 \times 6.6 \times 10^{-11} \times 6 \times 10^{24}}{6400 \times 10^3}} \text{ ms}^{-1}$$

$$= 11.12 \text{ kms}^{-1}.$$

2. ভূপৃষ্ঠ হতে 700 km উচ্চে থেকে একটি কৃত্রিম উপগ্রহ পৃথিবীকে প্রদক্ষিণ করছে। কৃত্রিম উপগ্রহটির প্রদক্ষিণ বেগ নির্ণয় করো। উপগ্রহটির পরিভ্রমণের পর্যায়কাল কত ?

পৃথিবীর ব্যাসার্ধ = 6300 km এবং ভূপৃষ্ঠে g -এর মান 9.80 ms^{-2} . [Jt. Entrance 1992]

উঃ। প্রদক্ষিণ বেগ $v = \sqrt{\frac{gR^2}{r}}$ এক্ষেত্রে, $r = 6300 + 700 = 7000 \text{ km} = 7 \times 10^6 \text{ m}$;

$$R = 6300 \text{ km} = 63 \times 10^5 \text{ m}. \therefore v = \sqrt{\frac{9.8 \times (63 \times 10^5)^2}{7 \times 10^6}} = 74.54 \times 10^2 \text{ ms}^{-1} = 7.45 \text{ kms}^{-1}.$$

একবার পূর্ণ পরিভ্রমণে উপগ্রহ কতটা দূরত্ব অতিক্রম করে (অর্থাৎ কক্ষপথের পরিধি) জানা থাকলে, আমরা উপগ্রহের পর্যায়কাল নির্ণয় করতে পারি।

এখন কক্ষপথের পরিধি $= 2\pi(R+h) = 2\pi(6300+700) = 2\pi \times 7000 \text{ km} = 2\pi \times 7000 \times 10^3 \text{ m}$
উপগ্রহের প্রদক্ষিণ বেগ $= 7.45 \text{ kms}^{-1}$

$$\therefore \text{পর্যায়কাল} = \frac{2\pi \times 7000 \times 10^3}{7.45 \times 10^3} = 5900 \text{ s} = 1 \text{ h } 64 \text{ min}.$$

3. পৃথিবীর চতুর্দিকে একটি ক্ষুদ্র কৃত্রিম উপগ্রহ পরিক্রমণ করছে। উপগ্রহের কক্ষপথের ব্যাসার্ধ পৃথিবীর ব্যাসার্ধের সামান্য কিছু বেশি। উপগ্রহটির প্রদক্ষিণ বেগ এবং পর্যায়কাল নির্ণয় করো। $g = 9.8 \text{ ms}^{-2}$ এবং পৃথিবীর ব্যাসার্ধ $R = 6300 \text{ km}$.

উঃ। ভূপৃষ্ঠের খুব কাছে থেকে কৃত্রিম উপগ্রহ ভূপ্রদক্ষিণ করলে তার প্রদক্ষিণ বেগ $v = \sqrt{gR}$
 $= \sqrt{9.8 \times 6300 \times 10^3} = 78.57 \times 10^2 \text{ ms}^{-1} = 7.84 \text{ kms}^{-1}.$

$$\text{আবার, পর্যায়কাল } T = \frac{2\pi R}{v} = \frac{2 \times 3.14 \times 6300}{7.84} \text{ s} = \frac{2 \times 3.14 \times 6300}{7.84 \times 3600} \text{ h} = 1 \text{ h } 24 \text{ min. (প্রায়)}$$

4. পৃথিবীর কেন্দ্রবিন্দুকে কেন্দ্র করে একটি কৃত্রিম উপগ্রহ পৃথিবী পরিক্রমণ করছে। প্রমাণ করো ঐ অবস্থায় তার মুক্তিবৈগে তার কক্ষীয় গতিবেগের 1.41 গুণ।

উঃ। ধরো, উপগ্রহের ভর m ; তার কক্ষীয় গতিবেগ $= v$; কক্ষপথের ব্যাসার্ধ $= r$;
কক্ষপথে আবর্তনকালে তার অভিকেন্দ্র বল তার উপর পৃথিবীর অভিকর্ষ বলের সমান।

$$\text{অতএব, } \frac{GMm}{r^2} = \frac{m \cdot v^2}{r} \quad [M = \text{পৃথিবীর ভর}] \quad \text{অথবা, } v^2 = \frac{GM}{r} \dots\dots (i)$$

$$2.15 \text{ অনুচ্ছেদে দেখেছি যে ভূকেন্দ্র হতে } r \text{ দূরত্বে মুক্তিবৈগে } v_e = \sqrt{\frac{2GM}{r}}$$

$$\text{অথবা, } v_e^2 = \frac{2GM}{r} \dots\dots (ii)$$

$$(i) \text{ এবং } (ii) \text{ নং সমীকরণ হতে পাই, } v_e^2 = 2v^2 \text{ অথবা, } v_e = \sqrt{2} \cdot v = 1.41 v.$$

5. একটি কৃত্রিম উপগ্রহ বৃত্তাকার কক্ষপথে পৃথিবীর চারিদিক পরিভ্রমণ করছে। তার কক্ষীয় গতিবেগ পৃথিবী সাপেক্ষে মুক্তিবৈগের অর্ধেক। (i) উপগ্রহটি পৃথিবীপৃষ্ঠ হতে কতটা উচ্চে অবস্থিত? (ii) যদি কক্ষপথে থাকাকালীন উপগ্রহটির গতি সহসা রুদ্ধ করা যায় এবং তাকে অবাধে পৃথিবীর দিকে পড়তে দেওয়া হয় তবে পৃথিবীপৃষ্ঠ স্পর্শ করার পূর্বে তার গতিবেগ কত হবে? পৃথিবীর ব্যাসার্ধ $= 6.4 \times 10^6 \text{ m}$ এবং $g = 9.8 \text{ ms}^{-2}$.

উঃ। (i) ধরা যাক, উপগ্রহটি ভূপৃষ্ঠ হতে h metre উচ্চতায় অবস্থিত আছে। ঐ উচ্চতায় উপগ্রহের

কক্ষীয় গতিবেগ $v = \sqrt{\frac{gR^2}{R+h}}$ এবং ভূপৃষ্ঠের সাপেক্ষে মুক্তিবেগ $v_e = \sqrt{2gR}$ [$R =$ পৃথিবীর ব্যাসার্ধ]

$$\text{প্রশ্নানুযায়ী, } v = \frac{1}{2} \cdot v_e; \text{ বর্গ নিলে, } v^2 = \frac{1}{4} \cdot v_e^2 \therefore \frac{gR^2}{R+h} = \frac{1}{4} \times 2gR = \frac{gR}{2}$$

$$\text{অথবা, } h = R = 6.4 \times 10^6 \text{ m.}$$

$$(ii) \text{ ভূপৃষ্ঠ হতে } h \text{ উচ্চতায় উপগ্রহের স্থিতিশক্তি} = -\frac{GM \cdot m}{R+h} = -\frac{GMm}{2R} \quad [\because h = R]$$

$$\text{ভূপৃষ্ঠে পৌছোলে, তার স্থিতিশক্তি} = -\frac{GMm}{R}$$

স্থিতিশক্তির পরিবর্তন $= -\frac{GMm}{R} - \left(-\frac{GMm}{2R}\right) = -\frac{GMm}{2R}$; নেগেটিভ চিহ্ন বোঝায় যে উপগ্রহের স্থিতিশক্তির ক্ষয় হল। স্পষ্টত এই শক্তিক্ষয় উপগ্রহের গতিশক্তিতে রূপান্তরিত হবে। ভূপৃষ্ঠে পৌছোবার

$$\text{মুহূর্তে তার গতিবেগ } v \text{ হলে, } \frac{1}{2}mv^2 = \frac{GMm}{2R} \text{ অথবা, } v^2 = \frac{GM}{R} = gR \quad \left[\because \frac{GM}{R^2} = g\right]$$

$$\therefore v = \sqrt{gR} = \sqrt{9.8 \times 6.4 \times 10^6} \text{ ms}^{-1} = 7.9 \times 10^3 \text{ ms}^{-1}. \text{ (প্রায়)}$$

2.18. ভারহীন অবস্থা (Weightless condition):

বস্তুর ভার বা ওজন বলতে বস্তুর উপর পৃথিবীর অভিকর্ষজনিত মোট আকর্ষণ বল বুঝায়। সুতরাং এই অভিকর্ষ বলকে নিষ্ক্রিয় করতে পারলেই বস্তু ভারহীন হয়ে পড়বে।

ভূপৃষ্ঠে থাকাকালীন আমরা আমাদের ওজন অনুভব করি কারণ ভূপৃষ্ঠ দেহের উপর ওজনের সমান প্রতিক্রিয়া সৃষ্টি করে। লিফট যখন অবধে অবতরণ করে তখন লিফটের অভ্যন্তরস্থ সকল বস্তুর ত্বরণ g -এর সমান হয় এবং সেক্ষেত্রে বস্তুর উপর লিফটের প্রতিক্রিয়া শূন্য। লিফটের ভিতর কোনো ব্যক্তি থাকলে, (প্রতিক্রিয়া শূন্য হওয়ায়) ঐ অবস্থায় সে নিজেকে ‘ভারহীন’ মনে করবে।

যখন মহাকাশচারী সহ মহাকাশযানকে রকেটের সাহায্যে উৎক্ষেপ করা হয় তখন প্রচণ্ড বল প্রয়োগ করে উৎক্ষেপ করা হয়। প্রথমাবস্থায় যানের ত্বরণ a প্রায় অভিকর্ষজ ত্বরণের 15 গুণ হয়। মনে কর মহাকাশযানের ভিতর কোনো ব্যক্তির উপর এই অবস্থায় প্রতিক্রিয়া R ; তাহলে, $R - mg = m \cdot a = m \cdot 15g$ [$m =$ ব্যক্তির ভর]

$$\therefore R = 16mg.$$

অর্থাৎ, প্রথমাবস্থায় মহাকাশচারীর উপর যে প্রতিক্রিয়া পড়বে তা ব্যক্তির ওজনের প্রায় 16 গুণ। তখন সে প্রচণ্ড বল অনুভব করবে।

কিন্তু কক্ষপথে পৌঁছে অবস্থা অন্যরকম হয়। তখন মহাকাশযান এবং মহাকাশচারী উভয়ের ত্বরণ g' যদি অবশ্য কক্ষপথের ঐ উচ্চতায় অভিকর্ষজ ত্বরণ g' মনে করা হয়। ঐ অবস্থায় মহাকাশচারীর উপর দুটি বল ক্রিয়া করে (i) তার ওজন mg' নিম্নাভিমুখী এবং (ii) মহাকাশযানের তল কর্তৃক বিপরীত প্রতিক্রিয়া R' ; এই বলদ্বয়ের লব্ধি মহাকাশযানের বৃত্তাকার পথে ঘোরার জন্য অভিকেন্দ্র বলের সমান; অর্থাৎ,

$$mg' - R' = \frac{mv^2}{R'} = mg' \left[v = \sqrt{g'R'} \right] \text{ অথবা } R' = 0.$$

প্রতিক্রিয়া শূন্য হওয়ায় মহাকাশচারী মহাকাশযানের ভিতর নিজেকে ওজনহীন মনে করবে এবং ইটাচলা করলে নিজের ওজন বুঝতে পারবে না; অর্থাৎ সে ‘ওজনশূন্য’ বা ‘ভারহীন’ হবে। কক্ষপথে প্রদক্ষিণরত মহাকাশযানের ভিতরকার সকল বস্তুকে আমরা ‘অবাধ অবতরণ’ অবস্থায় আছে বলে মনে করতে পারি কারণ বস্তুগুলির ছুরণ g -এর সমান হয়।

বলা বাহুল্য, ভারহীন অবস্থা স্বাভাবিক মানুষের পক্ষে এক অস্বাভাবিক অবস্থা। এতে নানারকম অস্বস্তি এবং প্রতিক্রিয়া সৃষ্টি হয়। তাই, মহাকাশ অভিযানে পাঠাবার পূর্বে ভূপৃষ্ঠে কৃত্রিম উপায়ে ভারহীন অবস্থা সৃষ্টি করে তার সাথে মহাকাশচারীকে বহুদিন ধরে অভ্যস্ত করানো হয়। বর্তমানে দুটি মহাকাশযানকে কেবল দ্বারা আবদ্ধ করে একসঙ্গে উৎক্ষেপ করা হয় এবং একের উপস্থিতির দ্বারা অন্যটির অভ্যন্তরে কৃত্রিম ভার সৃষ্টি করা হয়।

প্রশ্ন উঠতে পারে যে কৃত্রিম উপগ্রহের ভিতর বস্তু যদি ভারশূন্য অবস্থায় থাকে তবে আসল উপগ্রহ চন্দ্রপৃষ্ঠে বস্তু ভারশূন্য হবে কিনা। চাঁদও ত’ পৃথিবীর মহাকর্ষীয় আকর্ষণে পৃথিবীর চতুর্দিকে প্রদক্ষিণ করে। চন্দ্রপৃষ্ঠে বস্তুর পৃথিবীর আকর্ষণজনিত কোনো ভার থাকবে না ঠিকই কিন্তু ঐ বস্তুর উপর চন্দ্রের অভিকর্ষীয় আকর্ষণ পড়বে এবং তার জন্য বস্তুর ভার লক্ষিত হবে। হিসাব করলে দেখা যায় যে চন্দ্রপৃষ্ঠে g -এর মান পৃথিবীর তুলনায় প্রায় $\frac{1}{6}$ ভাগ। অতএব পৃথিবীপৃষ্ঠে কোনো বস্তুর যা ওজন চন্দ্রপৃষ্ঠে ঐ ওজন হবে $\frac{1}{6}$ ভাগ।

এই পরিচ্ছেদের বিষয়বস্তু সম্পর্কে কয়েকটি প্রশ্ন (Some typical problems of this chapter)

1. অবাধ অবতরণের সময় বস্তু ওজনহীন হয়। কারণ কী?

- কোনো বস্তুর ওজন আমরা তখনই অনুভব করি যখন আমরা কোনোপ্রকারে বস্তুর উপর পৃথিবীর আকর্ষণ বলকে বাধা দিই। যেমন, মাথায় একটি বোঝা চাপালে, আমরা তার ওজন অনুভব করি কারণ আমরা পেশীর সাহায্যে বোঝার উপর পৃথিবীর আকর্ষণ বলকে প্রতিহত করি। কিন্তু মাথায় বোঝা নিয়ে যদি কোনো ব্যক্তি কিছু উপর হতে লাফ দেয় তবে যতক্ষণ সে বায়ুতে থাকে ততক্ষণ পৃথিবীর আকর্ষণকে প্রতিহত করার প্রয়োজন হয় না এবং ততক্ষণ সে অনুভব করে না যে তার মাথার উপর কোনো বোঝা আছে। অর্থাৎ বায়ুর ভিতর দিয়ে অবাধ অবতরণের সময় বোঝা ওজনহীন হয়ে পড়ে। কিন্তু যে মুহূর্তে ব্যক্তির পা মাটি স্পর্শ করে সেই মুহূর্তে সে মাথার উপর বোঝার অস্তিত্ব টের পায়। এই কারণে ‘অবাধ অবতরণের সময় বস্তুর কোনো ওজন থাকে না’—এরূপ মন্তব্য সর্বপ্রথম করেন গ্যালিলিও। নিম্নবর্ণিত সহজ পরীক্ষা দ্বারা এই ঘটনা সুন্দর দেখানো যায়।

একটি স্প্রিংতুলা নেওয়া হল। ধরা যাক, তুলাতে কোনো ওজন না চাপালে, কাঁটা শূন্য পাঠ দেয়। এখন একটি ভার (load) স্প্রিং-এ চাপানো হল। মনে কর, কাঁটা 5 kg দাগে সরে গেল। বোঝা গেল ভারটির ওজন 5 kg wt. এইবার ভারসমত স্প্রিংতুলাকে কিছু উপর হতে খাড়া নীচে পড়তে দেওয়া হল। দেখা যাবে যতক্ষণ স্প্রিংতুলা বায়ুতে আছে, ততক্ষণ কাঁটা শূন্য পাঠ দিচ্ছে; যেন স্প্রিংতুলার হুকে কোনো ভার চাপানো নেই। এই সহজ পরীক্ষা সন্দেহাতীতভাবে প্রমাণ করে যে অবাধ অবতরণের সময় বস্তু ওজনহীন হয়।

- দুটি একই রকমের রেলগাড়ি ভূপৃষ্ঠের বিষুব অঞ্চলে নিরক্ষরেখা বরাবর রেললাইনের উপর দিয়ে বিপরীত দিকে ছুটছে। তারা কি লাইনের উপর সমান চাপ প্রয়োগ করবে?
- গাড়ি দুটি সমান চাপ প্রয়োগ করবে না। যে গাড়ি পশ্চিম হতে পূর্বদিকে যাচ্ছে, পৃথিবীর নিজস্ব ঘূর্ণাঙ্ক সাপেক্ষে তার কৌণিক গতিবেগ বৃদ্ধি পাবে কারণ পৃথিবী নিজেও ঐ অক্ষ সাপেক্ষে পশ্চিম হতে পূর্বদিকে

আবর্তিত হচ্ছে। ফলে গাড়ির অপকেন্দ্র বল ($\omega^2 r$ -এর সমানুপাতিক) বৃদ্ধি পাবে। এই বর্ধিত অপকেন্দ্রবলকে কাটবার জন্য ট্রেনের প্রকৃত ওজনের অনেকখানি নষ্ট হবে অথবা ট্রেনের আপাত ওজন কমে যাবে। ফলে ঐ ট্রেন লাইনের উপর কম চাপ দেবে। অপরপক্ষে যে গাড়ি পূর্ব হতে পশ্চিমে যাচ্ছে, তার কৌণিক গতিবেগের অভিমুখ পৃথিবীর কৌণিক গতিবেগের বিপরীত। এতে তার অপকেন্দ্র বল কমে যায়। ফলে, ট্রেনের আপাত ওজন বৃদ্ধি পাবে এবং লাইনের উপর অপেক্ষাকৃত বেশি চাপ দেবে।

3. পৃথিবীর আবর্তন বন্ধ হয়ে গেলে এবং পৃথিবীর আবর্তন বেগ বৃদ্ধি পেলে অভিকর্ষজ ত্বরণ g -এর মান কী হবে? [Jt. Entrance 1986, '96]

- প্রমাণ করা যায় যে ϕ অক্ষাংশে অভিকর্ষজ ত্বরণ g_ϕ এবং পৃথিবীর কোনো আবর্তন না থাকলে,

অভিকর্ষজ ত্বরণ g হলে, $g_\phi = g \left(1 - \frac{R \cdot \omega^2 \cos^2 \phi}{g} \right)$ [R = পৃথিবীর ব্যাসার্ধ এবং ω পৃথিবীর কৌণিক গতিবেগ]।

উপরোক্ত রাশিমালা থেকে জানা যায় যে g -এর মান পৃথিবীর আবর্তনের উপর নির্ভর করে। পৃথিবীর আবর্তন বন্ধ হলে $\omega = 0$; তখন g_ϕ -এর মান বেড়ে g -এর সমান হবে।

আবার, আবর্তন বেগ বেড়ে গেলে অর্থাৎ ω -র মান বৃদ্ধি পেলে উপরোক্ত সমীকরণ থেকে বোঝা যায় যে g_ϕ -এর মান কমে যাবে।

4. ভর স্থির থেকে যদি পৃথিবীর ব্যাসার্ধ অকস্মাৎ কমে যায় তবে ভূপৃষ্ঠে অভিকর্ষজ ত্বরণের মান বৃদ্ধি পাবে। ব্যাখ্যা করো।

- ধর, m ভরের একটি বস্তুবিন্দু পৃথিবীর কেন্দ্র হতে d দূরে অবস্থিত আছে। এখন বস্তুটিকে ছেড়ে দিলে অভিকর্ষের জন্য তা নীচে পড়বে। তখন তার যে ত্বরণ সৃষ্টি হবে, তাকেই অভিকর্ষজ ত্বরণ (g) বলে।

পৃথিবীর ভর M এবং আকর্ষণ বল F হলে, $F = \frac{GMm}{d^2}$; এস্থলে পৃথিবীর ভরকে তার কেন্দ্রবিন্দুতে একত্রীভূত করা আছে কল্পনা করে নিতে হবে। এখন বস্তু যদি g ত্বরণ নিয়ে পড়ে তবে নিউটনের দ্বিতীয় গতিসূত্র হতে পাই, $F = mg$

$$\therefore mg = \frac{GMm}{d^2} \text{ অথবা, } g = \frac{GM}{d^2};$$

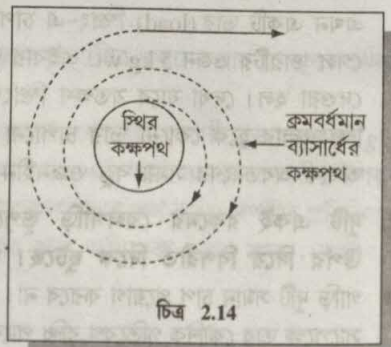
এখন, ভূপৃষ্ঠে $d = R$ (পৃথিবীর ব্যাসার্ধ); কাজেই ভূপৃষ্ঠে $g = \frac{GM}{R^2}$; G এবং M অপরিবর্তিত

থাকলে $g \propto \frac{1}{R^2}$; অতএব ব্যাসার্ধ R অকস্মাৎ কমে গেলে ভূপৃষ্ঠে অভিকর্ষজ ত্বরণের মান বৃদ্ধি পাবে।

5. যদি মহাকর্ষীয় ধ্রুবক (G) সময়ের সঙ্গে খুব ধীরে ধীরে কমে যায় তাহলে চাঁদের গতিতে কী ফল দেখা যাবে? পরিষ্কারভাবে ব্যাখ্যা করো।

[Jt. Entrance 1990]

- পৃথিবীর চতুর্দিকে বৃত্তাকার পথে চাঁদের পরিভ্রমণের জন্য অভিকেন্দ্র বল আসে চন্দ্রের উপর পৃথিবীর মহাকর্ষীয় বল থেকে। যতক্ষণ পর্যন্ত G -এর মান স্থির থাকে যতক্ষণ পর্যন্ত চাঁদ স্থির ব্যাসার্ধের কক্ষপথে (2.14 নং চিত্রের টানা লাইনের বৃত্ত) পরিভ্রমণ করে। যদি G -এর মান হ্রাস পায়, তবে মহাকর্ষীয় আকর্ষণ বল হ্রাস পাবে—অর্থাৎ চন্দ্রের অভিকেন্দ্র বল হ্রাস পাবে। ফলে চাঁদ পৃথিবী থেকে খানিকটা দূরে সরে গিয়ে বৃহত্তর ব্যাসার্ধের কক্ষপথে পরিভ্রমণ করবে।



যদি G -এর মান সময়ের সঙ্গে ধীরে ধীরে কমেতে থাকে তাহলে চাঁদের কক্ষপথের ব্যাসার্ধও ধীরে ধীরে বাড়তে থাকবে অথবা চাঁদ ক্রমবর্ধমান ব্যাসার্ধের প্যাঁচালো কক্ষপথে ঘুরে পৃথিবী থেকে দূরে সরে যাবে।
পরিশেষে যখন $G=0$ হবে, তখন চাঁদ কক্ষপথের স্পর্শক বরাবর সরলরেখায় ছুটে যাবে।

6. মনে করো মহাকর্ষ সূত্র ব্যস্ত বর্গ (inverse square) থেকে ব্যস্ত ত্রিঘাত (inverse cube) পরিবর্তিত হল। এর ফলে সূর্যের চতুর্দিকে পৃথিবীর কৌণিক ভরবেগের কি কোনো পরিবর্তন হবে?

● সূর্যের যে-আকর্ষণ বলের জন্য পৃথিবী আবর্তিত হয় তা সর্বদা পৃথিবীর কক্ষপথের কেন্দ্রের অভিমুখী অর্থাৎ এই বল কেন্দ্রীয় বল (central force)। বল যতক্ষণ পর্যন্ত কেন্দ্রাভিমুখী থাকে ততক্ষণ পৃথিবীর উপর কোনো টর্ক ক্রিয়া করে না। যতক্ষণ টর্ক ক্রিয়া না করে, ততক্ষণ পৃথিবীর কৌণিক ভরবেগ অপরিবর্তিত থাকে।

7. একটি গ্রহের ঘনত্ব পৃথিবীর ঘনত্বের $\frac{1}{3}$ এবং ব্যাসার্ধ পৃথিবীর ব্যাসার্ধের $\frac{1}{4}$; এক ব্যক্তি পৃথিবীপৃষ্ঠে 2 m উঁচু পর্যন্ত লাফাতে পারলে, ঐ গ্রহে সে সর্বাধিক কতটা উঁচুতে লাফাতে পারবে?

● ধরি ঐ ব্যক্তি পৃথিবী পৃষ্ঠে h_1 এবং ঐ গ্রহে h_2 পর্যন্ত উচ্চতা লাফাতে পারে। লাফ দেবার আগে দুক্ষেত্রেই ব্যক্তির গতিশক্তি সমান ধরে নিলে সর্বাধিক উচ্চতায় তার স্থিতিশক্তি দুক্ষেত্রেই সমান হবে।

এখন ভূপৃষ্ঠের h_1 উচ্চতায় ব্যক্তির স্থিতিশক্তি $= mgh_1$ [$g_1 =$ ভূপৃষ্ঠে অভিকর্ষজ ত্বরণ]

আবার, গ্রহের h_2 উচ্চতায় ,, ,, $= mgh_2$ [$g_2 =$ গ্রহের পৃষ্ঠে অভিকর্ষজ ত্বরণ]

$$\therefore mgh_1 = mgh_2$$

$$\text{অথবা, } h_2 = \frac{g_1}{g_2} \cdot h_1$$

$$\text{ভূপৃষ্ঠে } g_1 = \frac{4\pi}{3} \cdot G \cdot R_1 \rho_1 \text{ (2.5 অনুচ্ছেদ) এবং গ্রহের পৃষ্ঠে } g_2 = \frac{4\pi}{3} \cdot G R_2 \rho_2$$

$$\therefore h_2 = \frac{\frac{4\pi}{3} \cdot G \cdot R_1 \rho_1 \times h_1}{\frac{4\pi}{3} \cdot G R_2 \cdot \rho_2} = \frac{R_1}{R_2} \times \frac{\rho_1}{\rho_2} \times h_1 = 4 \times 3 \times 2 = 24 \text{ m}$$

ব্যক্তি ঐ গ্রহে সর্বাধিক 24 m পর্যন্ত উঁচুতে লাফাতে পারবে।

8. দুটি কৃত্রিম উপগ্রহ ভূপৃষ্ঠ হতে একই উচ্চতায় থেকে ভূ-প্রদক্ষিণ করছে। একটি উপগ্রহের ভর অপারটির দ্বিগুণ হলে, তাদের গতিবেগ কি ভিন্ন হবে?

● ভূপৃষ্ঠ থেকে উপগ্রহের কক্ষপথের উচ্চতা h হলে, তার প্রদক্ষিণ গতিবেগ $v = \sqrt{\frac{GM}{R+h}}$;

$M =$ পৃথিবীর ভর এবং $R =$ পৃথিবীর ব্যাসার্ধ।

উপরোক্ত রাশিমালা থেকে বোঝা যায় যে প্রদক্ষিণ বেগ কৃত্রিম উপগ্রহের ভরের উপর নির্ভর করে না।

তাই, একটি উপগ্রহের ভর অপারটির দ্বিগুণ হলেও, তাদের প্রদক্ষিণ বেগ সমান থাকবে।

9. বৃত্তপথে পৃথিবীকে প্রদক্ষিণরত কোনো কৃত্রিম উপগ্রহে রক্ষিত কোনো পাত্রে জলের মধ্যস্থিত কোনো বিন্দুতে চাপ কত? যুক্তিসহ উত্তর লেখো। [Jt. Entrance 1987]

● কোনো বস্তুর যদি ভার বা ওজন থাকে তবেই সে চাপ প্রয়োগ করতে পারে। পৃথিবীকে প্রদক্ষিণরত

কৃত্রিম উপগ্রহের ভিতর সকল বস্তু ভারহীন অবস্থায় থাকে। সুতরাং পাত্রস্থ জলের কোনো ভার বা ওজন থাকবে না ; তাই জলের ভিতর যে-কোনো বিন্দুতে চাপ হবে শূন্য।

10. চন্দ্র ও পৃথিবীর ক্ষেত্রে কোন্ মুক্তিবেগ বেশি— যুক্তিসহ উত্তর দাও।

কোনো বস্তুর (গোলকাকৃতি) ব্যাসার্ধ R এবং ঐ বস্তুর পৃষ্ঠে অভিকর্ষক ত্বরণ g হলে, ঐ বস্তুর বেলায় মুক্তিবেগ v_e হবে $v_e = \sqrt{2gR}$

- এখন পৃথিবীপৃষ্ঠে অভিকর্ষক ত্বরণ এবং পৃথিবীর ব্যাসার্ধ উভয়ই চন্দ্রপৃষ্ঠে অভিকর্ষক ত্বরণ ও চাঁদের ব্যাসার্ধ অপেক্ষা বেশি। অতএব, পৃথিবীর বেলায় মুক্তিবেগ চাঁদের মুক্তিবেগের চাইতে বেশি।

11. 75 kg ভরের একজন বিমানছত্রধারী সমবেগে নীচের দিকে নামছে। তার উপর বায়ুর বাধা কত ? [Jt. Entrance 1988]

- সমবেগে নীচের দিকে নামার অর্থ এই যে, তার কোনো ত্বরণ নেই বা তার উপর কোনো নীট বল ক্রিয়া করছে না। এ অবস্থায় ছত্রধারীর ওজন বায়ুর বাধার সমান ও বিপরীতমুখী। অতএব বায়ুর বাধা = ছত্রধারীর ওজন = 75 kg.wt.

12. একটি গ্রহের ভর ও ব্যাস পৃথিবীর ভর ও ব্যাসের দ্বিগুণ। পৃথিবীর একটি সেকেন্ড পেডুলামের পর্যায়কাল ঐ গ্রহে কত ? [Jt. Entrance 1990, '95]

- ভূপৃষ্ঠে অভিকর্ষক ত্বরণ g_e হলে, $g_e = \frac{GM}{r^2}$; এখানে M = পৃথিবীর ভর এবং r = পৃথিবীর ব্যাসার্ধ।

$$\text{গ্রহে অভিকর্ষক ত্বরণ } g_p \text{ হলে, } g_p = \frac{G(2M)}{(2r)^2} \therefore \frac{g_e}{g_p} = 2$$

এখন, পৃথিবীর সেকেন্ড পেডুলামের বেলায় $2 = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g_e}}$ এবং গ্রহে ঐ পেডুলামের বেলায়

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g_p}} \therefore \frac{T}{2} = \sqrt{\frac{g_e}{g_p}} \quad \text{। অতএব, } T = 2\sqrt{2} = 2.8\text{s (প্রায়)} \quad \text{।}$$

13. একজন লোক একটি মোটর গাড়িতে বসে আছে ও তার ভর 70 kg। মোটর গাড়িটি 4ms^{-2} ত্বরণসহ চলছে। লোকটির উপর মাধ্যাকর্ষণ বল কত হবে ? $g = 9.8\text{ms}^{-2}$

[Jt. Entrance 1996]

- লোকটির উপর মাধ্যাকর্ষণ বল = লোকটির ওজন = $70 \times 9.8 = 686\text{ N}$; গাড়ির অনুভূমিক গতি নিম্নমুখী মাধ্যাকর্ষণ বলের উপর কোনো প্রভাব ফেলবে না।

14. নভোচারী সমেত একটি উপগ্রহকে রকেটের সাহায্যে কক্ষপথে স্থাপন করা হল। নভোচারী তার ওজনের কি কি পার্থক্য (i) উৎক্ষেপণের সময় (ii) কক্ষপথে অনুভব করবে ?

- (i) যখন নভোচারী সহ উপগ্রহকে রকেটের সাহায্যে উৎক্ষেপ করা হয় তখন প্রচণ্ড বল প্রয়োগ করে উৎক্ষেপ করা হয়। প্রথম অবস্থায় উপগ্রহের ত্বরণ a প্রায় অভিকর্ষক ত্বরণের 15 গুণ হয়। উপগ্রহের ভিতর অবস্থিত কোনো ব্যক্তির উপর প্রতিক্রিয়া R হলে, $R - mg = ma = 15mg$ অথবা $R = 16mg$ সুতরাং উৎক্ষেপণের সময় নভোচারী নিজেকে 16 গুণ ভারী মনে করবে।

(ii) কক্ষপথে পৌঁছানোর পর অবস্থা অন্যরকম হয়। প্রদক্ষিণরত উপগ্রহের অভ্যন্তরে সব কিছু ওজনহীন অবস্থায় থাকে কারণ তখন প্রতিক্রিয়া শূন্য হয়। সুতরাং কক্ষপথে থাকাকালীন নভোচারী নিজেকে ভারহীন মনে করবে।

15. পৃথিবীর ব্যাসার্ধ 6000 km। পৃথিবীর ঘূর্ণনের ফলে বিষুবরেখার উপর অবস্থিত কোনো বিন্দুর কি পরিমাণ অভিকেন্দ্র ত্বরণ হয় ?

- বিদ্যুৎ রেখায় অবস্থিত বিন্দুর অভিকেন্দ্র ত্বরণ $= \omega^2 R = \frac{4\pi^2}{T^2} \cdot R$; এখানে T = স্থায়ী অক্ষের চতুর্দিকে পৃথিবীর প্রদক্ষিণ কাল $= 24 \times 60 \times 60 = 86400$ s; $R = 6000$ km $= 6000 \times 10^3$ m

$$\therefore \text{ত্বরণ} = \frac{4 \times (3.14)^2 \times 6000 \times 10^3}{(86400)^2} = \frac{4 \times (3.14)^2 \times 6 \times 10^2}{(864)^2} = 0.03169 \text{ ms}^{-2}.$$

16. সকল বস্তুর ক্ষেত্রে অভিকর্ষজ বল বস্তুর ভরের সমানুপাতিক হলে, ভারী বস্তু হালকা বস্তু অপেক্ষা দ্রুতিগতিতে নীচে পড়ে না কেন?

- কোনো বস্তুর উপর অভিকর্ষজ বল F হলে এবং তার ভর m হলে, $F = m \cdot g$ কিন্তু ভূপৃষ্ঠে $F = G \frac{Mm}{R^2}$
[M = পৃথিবীর ভর এবং R = পৃথিবীর ব্যাসার্ধ]

$$\therefore \frac{GMm}{R^2} = m \cdot g \text{ অথবা } g = \frac{GM}{R^2} = \text{ধ্রুবক}$$

অতএব, ভারী বা হালকা সকল বস্তুই সমান দ্রুততায় নীচে পড়বে।

17. পৃথিবীর কেন্দ্রে অভিকর্ষজ ত্বরণ g -এর মান কত যেখানে পৃথিবীর ভর হল M এবং ব্যাসার্ধ R ।

- প্রমাণ করা যায় যে পৃথিবীর অভ্যন্তরে ভূপৃষ্ঠ থেকে x দূরে $g_x = g(1 - x/R)$
এখন $x = R$ হলে, $g_x = 0$; সুতরাং পৃথিবীর কেন্দ্রে g -এর মান শূন্য।

* প্রশ্নাবলি *

→ রচনামূলক প্রশ্ন

1. নিউটনের মহাকর্ষ সূত্র কী? মহাকর্ষীয় ধ্রুবকের সাথে পৃথিবীর গড় ঘনত্বের সম্পর্ক নির্ণয় করো। অভিকর্ষজ ত্বরণ বলতে কী বোঝ? তার সাথে সার্বিক মহাকর্ষীয় ধ্রুবক G -এর সম্পর্ক কী?
2. বস্তুর ভর ও ওজনের ভিতর পার্থক্য বুঝিয়ে লেখো।
3. ভূপৃষ্ঠের অভ্যন্তরে অভিকর্ষজ ত্বরণের মান গভীরতার সঙ্গে হ্রাস পায় কেন? পৃথিবীর কেন্দ্রে এর মান কত?
4. ভূপৃষ্ঠের বিভিন্ন স্থানে অভিকর্ষজ ত্বরণের মান পরিবর্তন করার কী কী কারণ থাকতে পারে? পৃথিবীর আন্বিক গতির জন্য অভিকর্ষজ ত্বরণের মান বিভিন্ন স্থানে কীভাবে পরিবর্তিত হয়?
5. প্রমাণ করো যে ভূপৃষ্ঠে অভিকর্ষজ ত্বরণ g -এর মান GM/R^2 যেখানে M = পৃথিবীর ভর; G = মহাকর্ষীয় ধ্রুবক এবং R = পৃথিবীর ব্যাসার্ধ।
6. প্রমাণ করো যে ভূপৃষ্ঠ হতে নির্দিষ্ট উচ্চতায় অভিকর্ষজ ত্বরণ ভূপৃষ্ঠের অভ্যন্তরে একই দূরত্বে অভিকর্ষজ ত্বরণ অপেক্ষা কম।
7. অভিকর্ষজ ত্বরণ পৃথিবীর পৃষ্ঠে কোনো স্থানের অক্ষাংশের সাথে কীভাবে পরিবর্তিত হয় তা নির্ণয় করো এবং তা থেকে ত্বরণের মান পৃথিবীপৃষ্ঠে কোন স্থানে সর্বোচ্চ তা নির্দেশ করো।
8. ভূপৃষ্ঠ হতে উপরে উঠলে এবং পৃথিবীর অভ্যন্তরে গেলে অভিকর্ষীয় ত্বরণের মান কীভাবে পরিবর্তিত হয় তা আলোচনা করো। পৃথিবীর কেন্দ্রে কোনও বস্তুর ওজন কত?
9. পৃথিবীর ব্যাস বরাবর একটি ঘর্ষণবিহীন সুড়ঙ্গ খোঁড়া হল। প্রমাণ করো যে কোনো মসৃণ বস্তুকে ঐ সুড়ঙ্গে ফেললে তা সুড়ঙ্গের সমগ্র দৈর্ঘ্য 42 মিনিট 20 সেকেন্ডে অতিক্রম করবে।
10. ভূপৃষ্ঠে অভিকর্ষজ ত্বরণের মান g হলে, h উচ্চতায় তার মান নির্ণয় করো। পৃথিবীর কেন্দ্রে এর মান নির্ণয় করো।
11. গ্রহের গতিসংক্রান্ত কেপলারের সূত্রগুলি বিবৃত করো। মহাকর্ষ সূত্র হতে কীভাবে কেপলারের তৃতীয় সূত্র প্রতিষ্ঠা করবে?
12. সূর্যের চতুর্দিকে বৃত্তাকার পথে পরিভ্রমণরত গ্রহের কক্ষীয় গতিবেগ ও আবর্তনকাল নির্ধারণ করো।
13. ভূপৃষ্ঠের খুব নিকটে থেকে একটি কৃত্রিম উপগ্রহ পৃথিবী প্রদক্ষিণ করছে। প্রমাণ করো যে তার প্রদক্ষিণ বেগ

$v = \sqrt{gR}$; R = পৃথিবীর ব্যাসার্ধ এবং g = ভূপৃষ্ঠে অভিকর্ষজ ত্বরণ।

14. গোলাকার গ্রহের চতুর্দিকে বৃত্তাকার পথে পরিভ্রমণরত কৃত্রিম উপগ্রহের সর্বনিম্ন প্রাদক্ষিণ কাল কেবলমাত্র গ্রহের গড় ঘনত্বের উপর নির্ভর করে—প্রমাণ করো। [Jt. Entrance, 1975]
15. কোন কক্ষপথে উপগ্রহকে স্থাপন করলে ভূপৃষ্ঠ হতে একে স্থির বলে প্রতীয়মান হবে?
16. একটি কৃত্রিম উপগ্রহ r ব্যাসার্ধের বৃত্তপথে প্রাদক্ষিণরত। দেখাও যে কক্ষপথে উপগ্রহের দ্রুতি উপগ্রহের ভর নিরপেক্ষ। কক্ষপথের আবর্তন কাল T হলে দেখাও যে $T^2 \propto r^3$.. [দ্রষ্টব্য : 2.14 নং অনুচ্ছেদ দেখো।]
17. পৃথিবী পৃষ্ঠের কোনো বিন্দুতে মহাকর্ষীয় বিভবের মান কত (পৃথিবীকে M ভরের এবং R ব্যাসার্ধের একটি সমসত্ত্ব গোলক ধরে নাও)। কক্ষপথে কত বেগে কোনো বস্তুকে পৃথিবী পৃষ্ঠ থেকে ছুঁড়লে সে আর ফিরে আসবে না? বস্তুটিকে কি উল্লম্বভাবে ছুঁড়তে হবে না পৃথিবী পৃষ্ঠের সঙ্গে যে-কোনো কোণে ছুঁড়লেই হবে?
18. মুক্তি বেগ কি? ভূপৃষ্ঠ থেকে একটি বস্তুর মুক্তিব্যেগ নির্ণয় করো।
19. পৃথিবীর বায়ুমণ্ডলে হাইড্রোজেন, হিলিয়াম গ্যাস অপচূর কেন?

→ অতি সংক্ষিপ্ত উত্তরের প্রশ্ন

1. মহাকর্ষীয় ধ্রুবকের মাত্রা কি?
2. কোন্টি বেশি—পৃথিবীর উপর 1 kg সিসার আকর্ষণ, না 1 kg সিসার উপর পৃথিবীর আকর্ষণ?
3. কোথায় বস্তুর ওজন বেশি হবে—মেরুপ্রান্তে না বিষুব অঞ্চলে?
4. কোনো বস্তুকে বিষুব অঞ্চল থেকে ধীরে ধীরে মেরু অঞ্চলের দিকে নিলে, তার উপর 'g'-এর মান বাড়বে না কমবে?
5. ভূকেন্দ্রে g-এর মান কত?
6. সূর্যের নিকটবর্তী গ্রহগুলির বৎসর দূরবর্তী গ্রহগুলির 'বৎসর' অপেক্ষা ছোটো না বড়ো? একটি উদাহরণ দাও।
7. কৃত্রিম উপগ্রহের প্রাদক্ষিণ বেগ বা প্রাদক্ষিণ কাল কি উপগ্রহের ভরের উপর নির্ভর করে?
8. পার্কিং কক্ষপথ কী? ভূপৃষ্ঠ থেকে এর উচ্চতা কত?
9. কোনো গ্রহে মুক্তিব্যেগ কি উৎক্ষিপ্ত বস্তুর ভরের উপর নির্ভর করে?
10. মুক্তিব্যেগ কোথায় বেশি হবে—ভূপৃষ্ঠে না চন্দ্রপৃষ্ঠে?

→ সংক্ষিপ্ত উত্তরের প্রশ্ন

1. মহাকর্ষীয় ধ্রুবকের সংজ্ঞা এবং একক লেখো।
2. কোনো বস্তুকে ভূপৃষ্ঠে, সমুদ্রসমতলে এবং পর্বতশ্রেণী ওজন করা হল। বস্তুর ওজনের কোনো পরিবর্তন লক্ষ করা যাবে কি? তেয়ার উত্তর সত্যকর্তার সাথে ব্যাখ্যা করো।
3. পৃথিবীপৃষ্ঠ হতে কোনো স্থানের উচ্চতার দ্বারা ঐ স্থানের অভিকর্ষজ ত্বরণ কীভাবে পরিবর্তিত হবে?
4. পৃথিবীকে প্রাদক্ষিণরত কোনো কৃত্রিম উপগ্রহে অবস্থানরত ব্যক্তি নিজেকে ভারশূন্য অনুভব করে কেন তার ব্যাখ্যা দাও।
5. (a) মুক্তিব্যেগ কাকে বলে? ভূপৃষ্ঠের কোনো স্থানের সাপেক্ষে একটি কৃত্রিম উপগ্রহকে কি আকাশে স্থির রাখা যায়? এরূপ উপগ্রহকে এবং তার কক্ষপথকে কী বলা হয়?
(b) ন্যূনতম কত বেগে উর্ধ্বে উৎক্ষিপ্ত হলে একটি বস্তু পৃথিবীর অভিকর্ষজ ক্ষেত্রের বাইরে চলে যেতে সক্ষম হবে?
6. প্রাদক্ষিণরত একটি কৃত্রিম উপগ্রহ হতে একটি বস্তুকে মহাশূন্যে ছেড়ে দেওয়া হল। এটা কি খাড়া নীচের দিকে পড়বে না উপগ্রহের মত পৃথিবী প্রাদক্ষিণ করবে?
[সংকেত : উপগ্রহের মত পৃথিবী প্রাদক্ষিণ করবে।]
7. ভূপৃষ্ঠে অবস্থিত একটি বস্তু পৃথিবী ও সূর্যের অভিকর্ষ বল দ্বারা আকর্ষিত হয়। মধ্যাহ্নে এই বল দুটি বিপরীতমুখী কিন্তু মধ্যরাত্রিতে সমমুখী। তাহলে, মধ্যরাত্রিতে কি ঐ বস্তুর ওজন বেশি হবে?
8. একই কক্ষপথে রেখে একটি উপগ্রহের ভর দ্বিগুণ করলে, তার পরিভ্রমণকালের কী পরিবর্তন হবে?
[সংকেত : পরিভ্রমণকাল ভরের উপর নির্ভরশীল নয়।]
9. নিম্নলিখিত প্রশ্নগুলির উত্তর দাও :
(a) ভূ-সমলয় উপগ্রহে কোনো একটি বস্তুর ওজন কত?
(b) মনে করো পৃথিবীর বীজ অক্ষের চতুর্দিকে আবর্তন বন্ধ হয়ে গেল। এতে ভূপৃষ্ঠের বস্তুসমূহের ওজনের কি পরিবর্তন দেখা যাবে?

(c) ভূগোলকের ভর ভূকেন্দ্রের কাছাকাছি ঘন সমিষ্ট হলে উচ্চতার সাথে g -এর মানের পরিবর্তনকে কি প্রভাবিত করে?

[সংকেত : ভূ-পদার্থের যে-কোনো সমিষ্ট উচ্চতার সাথে g -এর পরিবর্তনের উপর প্রভাব ফেলে না, কারণ পৃথিবীর বাইরের কোনো বিন্দুর সাপেক্ষে পৃথিবী এরূপ আচরণ করে যেন তার সমস্ত ভর কেন্দ্রে সমিষ্ট আছে।]

10. মহাকর্ষীয় বিভব ঋণাত্মক হয় কেন?

➔ **বহুমুখী পছন্দের প্রশ্ন [Multiple Choice Type (MCQ)]**

(A) নিচের উত্তরটি চিহ্নিত করো :

[i] পৃথিবীর ভর M এবং ব্যাসার্ধ R । মহাকর্ষীয় ত্বরণ ও মহাকর্ষীয় ধ্রুবকের অনুপাত

- (A) $\frac{R^2}{M}$ (B) $\frac{M}{R^2}$ (C) MR^2 (D) $\frac{M}{R}$

[ii] মঙ্গল গ্রহের ভর পৃথিবীর ভরের $\frac{1}{10}$ এবং ব্যাস পৃথিবীর ব্যাসের অর্ধেক। মঙ্গলগ্রহে পতনশীল বস্তুর ত্বরণ হবে

- (A) 9.8 ms^{-2} (B) 1.96 ms^{-2} (C) 3.92 ms^{-1} (D) 4.9 ms^{-2}

[iii] ভূপৃষ্ঠে একটি বস্তুর ওজন W newton। বস্তুকে স্থির তুলা থেকে ঝুলিয়ে স্থির তুলাকে একটি মহাকাশ যানের ছাদের সঙ্গে আটকানো হল। মহাকাশ যানটি একটি স্থির কক্ষপথে পৃথিবী পরিক্রমা করলে, স্থির তুলার পাঠ হবে

- (A) W (B) W অপেক্ষা কম (C) W অপেক্ষা বেশি (D) শূন্য।

[iv] ভূপৃষ্ঠ থেকে মুক্তিবৈগ v_e । পৃথিবীর ভর এবং ব্যাসের দ্বিগুণ ভর এবং ব্যাস যুক্ত একটি গ্রহের মুক্তিবৈগ হবে

- (A) v_e (B) $2v_e$ (C) $4v_e$ (D) $16v_e$

[v] পৃথিবীর ব্যাস বরাবর একটি লম্বা গর্ত করে তারমধ্যে একটি পাথরখণ্ড ফেলা হল। পাথরখণ্ডটি ভূকেন্দ্রে পৌঁছালে তার একটি সসীম (finite)

- (A) ভর থাকবে (B) ওজন থাকবে (C) ত্বরণ থাকবে (D) স্থিতিশক্তি থাকবে।

[vi] ভূপৃষ্ঠে অভিকর্ষজ ত্বরণের মান g ; m ভরের কোনো বস্তুকে ভূপৃষ্ঠ থেকে ভূ-ব্যাসার্ধের সমান উচ্চতায় নিলে তার স্থিতিশক্তি লাভ (gain)

- (A) $\frac{1}{2} mgR$ (B) $2 mgR$ (C) mgR (D) $\frac{1}{4} mgR$

[vii] ভূপৃষ্ঠ থেকে খাড়া উর্ধ্বে নিক্ষিপ্ত এক বস্তুর পক্ষে মুক্তিবৈগ 11.2 kms^{-1} । উল্লম্বের সঙ্গে 45° কোণে নিক্ষিপ্ত হলে, ওই বস্তুর মুক্তিবৈগ হবে

- (A) $\frac{11.2}{\sqrt{2}} \text{ kms}^{-1}$ (B) $11.2 \times \sqrt{2} \text{ kms}^{-1}$ (C) $11.2 \times 2 \text{ kms}^{-1}$ (D) 11.2 kms^{-1}

[viii] একটি উপগ্রহ ভূপ্রদক্ষিণ করছে। ভূপৃষ্ঠ থেকে এর দূরত্ব বাড়ালে, এর

- (A) কৌণিক বেগ বৃদ্ধি পাবে (B) রৈখিক বেগ বৃদ্ধি পাবে
(C) কৌণিক বেগ হ্রাস পাবে (D) পর্যায়কাল বৃদ্ধি পাবে।

[ix] বস্তুর ওজন

- (A) ভূকেন্দ্রে শূন্য (B) ভূপৃষ্ঠ থেকে ভূ-ব্যাসার্ধের সমান উচ্চতায় সমুদ্রতলের তুলনায় $\frac{1}{4}$

- (C) সকল কৃত্রিম উপগ্রহে সমান (D) ভূপৃষ্ঠের সকল স্থানে সমান।

[x] দুটি বস্তুর ভিতর মহাকর্ষ বল যদি R^2 -এর পরিবর্তে R^3 -এর সমানুপাতে এবং বস্তু দুটির ভরের সমানুপাতে বৃদ্ধি পায়, তবে

- (A) ভূপৃষ্ঠে বস্তুদুটির ওজন বর্তমান ওজন অপেক্ষা বেশি হবে (B) ওজন বর্তমান ওজন অপেক্ষা কম হবে
(C) গ্রহের সূর্য প্রদক্ষিণের পর্যায়কাল $T \propto R^2$ যেখানে R গড় দূরত্ব (D) $T^2 \propto R^2$

[Hints : $v = \sqrt{\frac{Gm}{R^2}}$; $T = \frac{2\pi R}{v} = \frac{2\pi R^2}{\sqrt{GM}}$ অথবা $T \propto R^2$]

[xi] একটি ভূ-সমলয় উপগ্রহ

- (A) যে-কোনো অক্ষের সাপেক্ষে ঘুরতে পারে (B) অবশ্যই মেরু অক্ষের (polar axis) চতুর্দিকে ঘুরবে
(C) বিষুবরেখার সমতলে অবস্থিত অক্ষের চতুর্দিকে ঘুরবে (D) বিষুব তলে অবস্থিত হবে।

- [xii] দুটি গ্রহের ব্যাসের অনুপাত 4 : 1 এবং গড় ঘনত্বের অনুপাত 1 : 2 ; ওই গ্রহ দুটিতে অভিকর্ষজ ত্বরণের অনুপাত
(A) 4 : 1 (B) 1 : 4 (C) 1 : 2 (D) 2 : 1.
- [xiii] একটি গ্রহের ভর ও ব্যাস পৃথিবীর ভর ও ব্যাসের তিনগুন। ভূপৃষ্ঠে অভিকর্ষজ ত্বরণ g_e হলে ওই গ্রহের পৃষ্ঠে হবে
(A) $\frac{1}{2} g_e$ (B) $\frac{1}{3} g_e$ (C) $\frac{1}{4} g_e$ (D) $\frac{1}{5} g_e$
- [xiv] নিউটনের মহাকর্ষ সূত্র
(A) গবেষণাগারে যাচাই (verify) করা যায় (B) গবেষণাগারে যাচাই করা যায় না ; কিন্তু সূত্রটি নির্ভুল (C) কেবলমাত্র পৃথিবীতে প্রযোজ্য (D) কেবলমাত্র সৌরজগতে প্রযোজ্য।
- [xv] মহাকর্ষীয় ধ্রুবকের মাত্রাসূত্র হল
(A) $M^{-1}L^2T^{-2}$ (B) $M^{-1}L^3T^{-2}$ (C) $M^{-1}L^3T^{-2}$ (D) $M^{-2}L^{-2}T^{-2}$.
- [xvi] পৃথিবীর উত্তর ও দক্ষিণ মেরু অঞ্চল একটু চাপা এবং বিষুব অঞ্চল একটু ফ্যাঁত। এর কারণ
(A) সূর্যের চতুর্দিকে পৃথিবীর উপবৃত্তাকার কক্ষপথে পরিভ্রমণ,
(B) পৃথিবীর নিজ অক্ষের চতুর্দিকে ঘূর্ণনের কৌণিক বেগ বিষুব অঞ্চলে বেশি,
(C) পৃথিবীর অপকেন্দ্র বল মেরু প্রদেশে অপেক্ষা বিষুব অঞ্চলে বেশি,
(D) কোনটাই না।
- [xvii] গভীর কয়লা খনিতে, সমুদ্র সমতলে এবং পর্বতশৃঙ্গে একটি বস্তুর ওজন যথাক্রমে W_1, W_2 এবং W_3 । তাহলে,
(A) $W_1 < W_2 > W_3$ (B) $W_1 = W_2 = W_3$ (C) $W_1 < W_2 < W_3$ (D) $W_1 > W_2 > W_3$.
- [xviii] ভূপৃষ্ঠ থেকে যে উচ্চতায় এবং ভূপৃষ্ঠের অভ্যন্তরে যে গভীরতায় অভিকর্ষজ ত্বরণের মান সমান সেই উচ্চতা ও গভীরতার অনুপাত
(A) $\frac{1}{3}$ (B) $\frac{1}{4}$ (C) $\frac{1}{2}$ (D) $\frac{1}{5}$.
- [xix] পৃথিবীর ব্যাসার্ধ R হলে, ভূপৃষ্ঠ থেকে একটি ভূ-সমলয় উপগ্রহের উচ্চতা হবে প্রায়
(A) R (B) $2R$ (C) $3R$ (D) $6R$.
- [xx] ভূপৃষ্ঠ থেকে একটি বস্তুকে মুক্তিবেগের সমান বেগ দিয়ে উৎক্ষেপ করা হল। বায়ুর ঘর্ষণ উপেক্ষা করলে, বস্তুর গতিপথ হবে
(A) সরল রেখা (B) উপবৃত্ত (C) পরাবৃত্ত (D) বৃত্ত।
- [xxi] পৃথিবীর ভর 6×10^{24} kg এবং চন্দ্রের ভর 7.4×10^{22} kg। মহাকর্ষীয় ধ্রুবকের মান $6.67 \times 10^{-11} \text{ Nm}^2\text{kg}^{-2}$ । সংস্থার স্থিতিশক্তি -7.79×10^{28} joule। পৃথিবী ও চন্দ্রের ভিতর গড় দূরত্ব
(A) 3.8×10^5 km (B) 3.37×10^5 km (C) 7.60×10^4 km (D) 1.90×10^2 m.
- [xxii] ভূপৃষ্ঠ থেকে 'h' উচ্চতায় g -এর মানের পরিবর্তন ভূপৃষ্ঠের নীচে x গভীরতায় ($h \leq R$ এবং $x \leq R$) পরিবর্তনের সমান হলে।
(A) $x = h$ (B) $x = 2h$ (C) $x = \frac{h}{2}$ (D) $x = h^2$.
- [xxiii] সমান ভরের দুটি কণা পারস্পরিক মহাকর্ষীয় আকর্ষণ বলের অধীনে R ব্যাসার্ধের বৃত্তাকার পথে পরিভ্রমণ করছে। প্রত্যেক কণার বেগ হবে
(A) $\sqrt{\frac{GM}{4R}}$ (B) $\sqrt{\frac{GM}{R}}$ (C) $\sqrt{\frac{G}{MR}}$ (D) $\sqrt{\frac{GR}{M}}$.
- [xxiv] একটি ফাঁপা ও পাতলা গোলকের অভ্যন্তরে কোন বিন্দুতে মহাকর্ষীয় প্রাবল্যের মান
(A) কেন্দ্র থেকে বিন্দুর দূরত্ব বাড়লে কমবে (B) ধ্রুবক কিন্তু মান শূন্য হয়
(C) শূন্য (D) কেন্দ্র থেকে বিন্দুর দূরত্ব বাড়লে বাড়বে।
- [xxv] একটি কৃত্রিম উপগ্রহ r ব্যাসার্ধের বৃত্তাকার পথে প্রদক্ষিণরত। উপগ্রহের আবর্তনকাল T হবে
(A) $T < r^3$ (B) $T^2 < r$ (C) $T^2 < r^3$ (D) $T < r$.
- [xxvi] কোন কারণে সূর্য থেকে পৃথিবীর গড় দূরত্ব কমে গেলে বছরের দৈর্ঘ্য
(A) কমবে (B) বাড়বে (C) একই থাকবে (D) কমেও পারে, আবার বাড়তেও পারে।
- [xxvii] R ব্যাসার্ধ এবং M ভরের একটি সুস্থম গোলকের কেন্দ্র থেকে r_1 এবং r_2 দূরত্বে মহাকর্ষীয় প্রাবল্যের মান যথাক্রমে F_1 এবং F_2 ; তাহলে
(A) $\frac{F_1}{F_2} = \frac{r_1}{r_2}$ যদি $r_1 < R$ এবং $r_2 < R$ (B) $\frac{F_1}{F_2} = \frac{r_1^2}{r_2^2}$ যদি $r_1 > R$ এবং $r_2 > R$

$$(C) \frac{F_1}{F_2} = \frac{r_1}{r_2} \text{ যদি } r_1 > R$$

$$(D) \frac{F_1}{F_2} = \frac{r_1^2}{r_2^2} \text{ যদি } r_1 < R \text{ এবং } r_2 > R.$$

[xxviii] দুটি বস্তুর প্রত্যেকটির ভর দ্বিগুণ হলে এবং তাদের পারস্পরিক দূরত্বও দ্বিগুণ হলে মহাকর্ষ বল

- (A) বাড়বে (B) কমবে (C) একই থাকবে (D) কোনটাই না।

[xxix] একটি উপগ্রহ পৃথিবীর চারিদিকে বৃত্তাকার পথে ঘুরতে থাকলে, তার ত্বরণ

- (A) ধ্রুবক (B) পরিবর্তনশীল (C) শূন্য (D) বাড়ছে, কমে।

[xxx] পৃথিবী পৃষ্ঠ থেকে পৃথিবীর ব্যাসার্ধের সমান উচ্চতায় অভিকর্ষজ ত্বরণের মান কত হবে? $[g = 10 \text{ ms}^{-2}]$

- (A) 5 ms^{-2} (B) 3 ms^{-2} (C) 8 ms^{-2} (D) 2.5 ms^{-2} . [Jt. Entrance 2006]

[xxxi] যদি h উচ্চতা এবং d গভীরতায় g এর মান সমান হয় এবং h ও d পৃথিবীর ব্যাসার্ধের তুলনায় অনেক কম হয় তাহলে h এবং d এর সম্পর্ক হবে

- (A) $h = d$ (B) $h = 2d$ (C) $2h = d$ (D) $3h = d$. [Jt. Entrance 2006]

(B) শূন্যস্থান পূরণ করো (Fill up the gaps):

[i] একটি ভূ-সমলয় উপগ্রহ ভূপৃষ্ঠ থেকে $6R$ উচ্চত থেকে ভূ-প্রদক্ষিণ করছে। ভূ-পৃষ্ঠ থেকে $2.5R$ দূরে থেকে আর একটি উপগ্রহের প্রদক্ষিণকাল হবে _____। (R = পৃথিবীর ব্যাসার্ধ)

[ii] সূর্যকে প্রদক্ষিণরত পৃথিবীর কৌণিক ভরবেগ R^n -এর সমানুপাতিক। R = পৃথিবী ও সূর্যের ভিতরকার দূরত্ব। n -এর মান হবে _____।

[iii] ভূপৃষ্ঠে একটি বস্তুর ওজন W ; ভূকেন্দ্রে থেকে $R/2$ দূরে ওই বস্তুর ওজন _____।

[iv] M ভরের পৃথিবীর চতুর্দিকে ঘূর্ণায়মান m ভরের একটি কৃত্রিম উপগ্রহের মোট শক্তি _____। উপগ্রহের কক্ষপথের ব্যাসার্ধ = r .

[v] ভূকেন্দ্রে কোনো বস্তুর ওজন _____।

[vi] বিদ্যুৎবাহক কার্যকর অভিকর্ষজ ত্বরণ শূন্য হলে পৃথিবীর কৌণিক গতিবেগের মান হওয়া উচিত _____।

(C) ভুল কি নির্ভুল বিচার করো (True or False type):

[i] ভর অপরিবর্তিত রেখে পৃথিবীর ব্যাসার্ধ 2% সংকুচিত হলে ভূপৃষ্ঠে অভিকর্ষজ ত্বরণের মান 4% বৃদ্ধি পাবে।

[ii] পৃথিবীর আকার সম্পূর্ণ গোল হলেও, বিভিন্ন অক্ষাংশে (latitude) বস্তুর ওজন বিভিন্ন হবে।

[iii] একটি কৃত্রিম উপগ্রহকে এতদূরতবে উৎক্ষেপ করা সম্ভব যাতে সেটি সর্বদা কলকাতার ঠিক উপরে অবস্থান করে।

[iv] সূর্যের চতুর্দিকে বৃত্তাকার কক্ষপথে পৃথিবী পরিভ্রমণ করার সময় তার উপর একটি বল ক্রিয়া করে। অতএব ওই বল পৃথিবীর উপর কিছু কার্য করে।

[v] পৃথিবীর চতুর্দিকস্থ বায়ুমণ্ডলে হঠাৎ অপসারণ করলে পৃথিবীর পরিভ্রমণের পর্যায়কাল হ্রাস পাবে।

[vi] $3M$ এবং M ভরের দুটি উপগ্রহ r এবং $3r$ ব্যাসার্ধের বৃত্তপথে পৃথিবীর চতুর্দিকে ঘুরছে। তাদের দ্রুতির অনুপাত = 1.

⇒ সহজ গাণিতিক প্রশ্ন

1. 40 kg ভরের একটি গোলক তার কেন্দ্রে হতে 20 cm দূরে অবস্থিত 15 kg ভরের অপর একটি গোলককে যে

বলের দ্বারা আকর্ষণ করে তা 1 মিলিগ্রামের $\frac{1}{10}$ ওজনের সমান। এ থেকে মহাকর্ষীয় ধ্রুবকের মান নির্ণয় করো।

[Ans. $6.53 \times 10^{-8} \text{ c.g.s.}$]

2. 10 g ভরের দুটি ক্ষুদ্র গোলক সম্পূর্ণ মসৃণ অনুভূমিক তলে পরস্পর হতে 1 m তফাতে রাখা আছে। মহাকর্ষীয়

আকর্ষণে কতক্ষণ পরে তারা পরস্পরের সঙ্গে মিলে যাবে? [Ans. 14.2 দিন (প্রায়)]

3. ভূপৃষ্ঠে একটি বস্তুর ভর 90 kg; একটি গ্রহের ভর পৃথিবীর ভরের $\frac{1}{9}$ এবং ব্যাসার্ধ পৃথিবীর ব্যাসার্ধের $\frac{1}{2}$ হলে,

ঐ গ্রহে বস্তুটির ওজন কত হবে? $g = 9.8 \text{ ms}^{-2}$. [Ans. 40 kg wt.]

4. নিজ অক্ষের চতুর্দিকে পৃথিবীর আবর্তগতি যদি সহসা স্তব্ধ হয়ে যায় তবে 45° অক্ষাংশে g -এর মানের কীরূপ

পরিবর্তন হবে? পৃথিবীকে $6.38 \times 10^6 \text{ m}$ ব্যাসার্ধের গোলক মনে করতে পারো। [Ans. 1.6897 cms^{-2}]

5. পৃথিবীপৃষ্ঠ হতে কত উচ্চতায় এবং কত গভীরতায় অভিকর্ষজ ত্বরণের মান ভূপৃষ্ঠের মানের অর্ধেক হবে? পৃথিবীর ব্যাসার্ধ 6300 km. [Ans. 2609 km; 3150 km]

6. ভূকেন্দ্রে হতে কত উচ্চে গেলে সেখানকার অভিকর্ষজ ত্বরণের মান ভূপৃষ্ঠের মানের $\frac{1}{16}$ হবে? পৃথিবীকে 6300 km

ব্যাসার্ধের গোলক বলে মনে করতে পারো।

[Ans.. 25200 km]

7. পৃথিবীর ব্যাসার্ধ 600 km। পৃথিবীর ঘূর্ণনের ফলে বিষুবরেখার উপর অবস্থিত কোনো বিন্দুর কী পরিমাণ অভিকর্ষজ ত্বরণ হয়?

[Jt. Entrance 1998] [Ans. 3.17 cm/s²]

8. যদি পৃথিবীর ব্যাসার্ধ হয় 6400 km ; $g = 9.8 \text{ ms}^{-2}$ এবং $G = 6.7 \times 10^{-8} \text{ c.g.s.}$ তাহলে পৃথিবীর ভর নির্ণয় করো।

[Ans. $6 \times 10^{24} \text{ kg.}$]

9. পৃথিবীর গড় ঘনত্ব 5500 kgm^{-3} মহাকর্ষীয় ধ্রুবক $6.7 \times 10^{-11} \text{ N m}^2 \text{ kg}^{-2}$ এবং পৃথিবীর ব্যাসার্ধ 6400 km ধরে নিলে, পৃথিবীপৃষ্ঠে অভিকর্ষজ ত্বরণের মান নির্ণয় করো।

[Ans. 9.9 ms^{-2}]

10. পৃথিবী হতে সূর্য্যভিমুখী রেখার কত দূরে একটি বস্তুর উপর সূর্যের মহাকর্ষজনিত আকর্ষণ পৃথিবীর মহাকর্ষজনিত আকর্ষণের সমান হবে? পৃথিবী হতে সূর্যের দূরত্ব $= 9.3 \times 10^7$ মাইল এবং সূর্যের ভর $3.24 \times 10^5 M_\odot$.

[Ans. 1.63×10^5 মাইল]

11. গ্রহের কক্ষপথ বৃত্তাকার ধরে কেপলারের সূত্র হতে প্রমাণ করো যে গ্রহগুলির ত্বরণ সূর্য হতে তাদের দূরত্বের বর্গের ব্যস্তানুপাতিক।

12. একজন লোক-কে পৃথিবীপৃষ্ঠ হতে $1.6 \times 10^5 \text{ m}$ উপরে বৃত্তাকার কক্ষে রাখা হল। পৃথিবীর ব্যাসার্ধের মান $6.37 \times 10^6 \text{ m}$ এবং পৃথিবীর ভর $5.98 \times 10^{24} \text{ kg}$ । লোকটির প্রদক্ষিণ বেগ কত হবে? $G = 6.67 \times 10^{-11} \text{ N-m}^2/\text{kg}^2$.

[Ans. 7.8 kms^{-1}]

⇒ কঠিন গাণিতিক প্রশ্ন

1. তিনটি সুষম গোলকের প্রত্যেকটির ভর m এবং ব্যাসার্ধ r । গোলক তিনটি এবূপভাবে বসানো হল যাতে প্রত্যেক গোলক অপর দুটি গোলক-কে স্পর্শ করে। প্রত্যেকটি গোলকের উপর অপর দুটি গোলকের দরুন অভিকর্ষীয় বল কত হবে?

[Ans. $\frac{\sqrt{3} Gm^2}{4r^2}$]

2. m ভরের দুটি কণা পারস্পরিক মহাকর্ষীয় আকর্ষণ বলের প্রভাবে r ব্যাসার্ধের বৃত্তপথে ঘুরছে। প্রত্যেকটি কণার বেগ নির্ণয় করো।

[Ans. $\sqrt{\frac{Gm}{4r}}$]

3. পৃথিবীর সর্বপ্রথম কৃত্রিম উপগ্রহ ভূপৃষ্ঠ হতে 3400 km উচ্চতায় থেকে পৃথিবী প্রদক্ষিণ করেছিল বলে প্রকাশ। তার প্রদক্ষিণ বেগ এবং পর্যায়কাল নির্ণয় করো। পৃথিবীর ব্যাসার্ধ 6400 km এবং $g = 980 \text{ cms}^{-2}$.

[Ans. 6.4 km/s ; $2\text{h } 40\text{m } 22\text{s}$]

4. প্রমাণ করো যে, চাঁদের গতিবেগ 42% বৃদ্ধি পেলে চাঁদ চিরতরে মহাশূন্যে বিলীন হয়ে যাবে।

5. পৃথিবীকে α ভর-ঘনত্বের একটি সুষম গোলক মনে করে প্রমাণ করো যে পৃথিবীর নিরক্ষতলের ঠিক বাইরে দিয়ে একটি কক্ষপথ বরাবর কৃত্রিম উপগ্রহের পরিক্রমণ কাল কেবলমাত্র α -র উপর নির্ভর করে।

$$[\text{সংকেত : } T = 2\pi\sqrt{\frac{(R+h)^2}{GM}}; \text{এক্ষেত্রে } h=0; M = \frac{4}{3}\pi R^3\sigma \therefore T = 2\pi\sqrt{\frac{R^2}{GM}} = 2\pi\sqrt{\frac{3}{4\pi G\sigma}}]$$

6. একটি বস্তুকে পৃথিবীর আকর্ষণ থেকে মুক্ত করতে যে ন্যূনতম গতিশক্তির প্রয়োজন তার অর্ধেক গতিশক্তি দিয়ে পৃথিবীপৃষ্ঠ থেকে সোজা উপরদিকে ছোড়া হল। পৃথিবীপৃষ্ঠ থেকে কত উচ্চতা পর্যন্ত বস্তুটি উঠবে? পৃথিবীর ব্যাসার্ধ $= R$

[Ans. R]

7. r ব্যাসার্ধের বৃত্তাকার পথে m ভরের একটি উপগ্রহ ভূ-প্রদক্ষিণ করছে। ঘর্ষণের দরুন তা ধীরে ধীরে প্রতি সেকেন্ডে Q পরিমাণ শক্তি হারাচ্ছে। পৃথিবীর ভর ও ব্যাসার্ধ যথাক্রমে M এবং R হলে দেখাও যে, উপগ্রহটি

$$t = \frac{GMm}{2Q} \left(\frac{1}{R} - \frac{1}{r} \right) \text{ সময় পরে ভূপৃষ্ঠে এসে পড়বে।}$$

8. একটি অর্ধবৃত্তাকার তারের দৈর্ঘ্য l এবং ভর M ; বস্তুর কেন্দ্রে m ভরের একটি কণা অবস্থিত আছে। তারের দরুন

m ভরের কণার উপর মহাকর্ষীয় বল নির্ণয় কর।

[Ans. $\frac{2\pi G Mm}{l^2}$]

9. M এবং m ভরের দুটি বস্তু পারস্পরিক মহাকর্ষ বলের অধীনে অসীম দূরত্ব হতে পরস্পরের দিকে অগ্রসর হতে লাগল।

বস্তু দুটির দূরত্ব যখন r_0 তখন প্রমাণ করো তাদের পরস্পরের দিকে অগ্রসর হবার গতিবেগ $\sqrt{\frac{2G}{r_0}(M+m)}$.

10. প্রত্যেকটি m ভরের তিনটি বস্তুকণা একটি সমবাহু ত্রিভুজের শীর্ষবিন্দুতে স্থাপিত। ত্রিভুজের বাহু দৈর্ঘ্য l ; বস্তুকণাগুলি পারস্পরিক মহাকর্ষীয় আকর্ষণ বলের প্রভাবে সমবাহু ত্রিভুজের পরিবৃত্ত (circumcircle) বরাবর প্রদক্ষিণ করলে, বস্তুকণার গতিবেগ নির্ণয় করো।

[Ans. $\sqrt{\frac{GM}{l}}$]

□ M.C.Q. প্রশ্নের উত্তর □

(A)

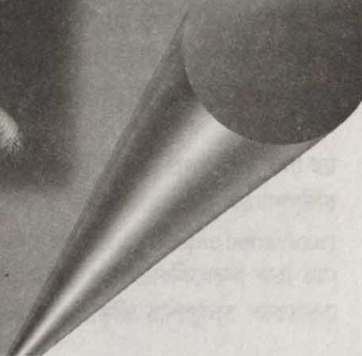
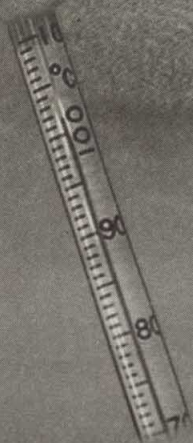
- | | | | | | |
|---------|--------------|----------|-----------|-----------|-------------|
| (i) B | (vi) A | (xi) B | (xvi) C | (xxi) C | (xxvi) B |
| (ii) C | (vii) D | (xii) D | (xvii) A | (xxii) B | (xxvii) A,B |
| (iii) D | (viii) A,C,D | (xiii) B | (xviii) C | (xxiii) A | (xxviii) C |
| (iv) A | (ix) A,C | (xiv) B | (xix) D | (xxiv) B | (xxix) B |
| (v) A | (x) B,C | (xv) B | (xx) A | (xxv) C | (xxx) D |
| | | | | | (xxxi) C |

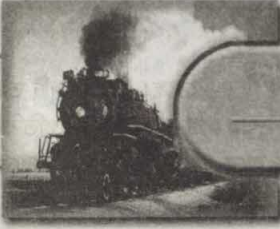
(B) [i] 8.3 ঘণ্টা, [ii] 0.5, [iii] $W/2$, [iv] $-GMm/2r$, [v] শূন্য [vi] 1.23×10^{-3} .

(C) [i] নির্ভুল, [ii] নির্ভুল, [iii] ভুল, [iv] ভুল, [v] নির্ভুল, [vi] ভুল।

তাপ বিজ্ঞান

[HEAT]





তাপগতিবিদ্যা

[THERMODYNAMICS]

1.1. তাপ এক প্রকার শক্তি (Heat is a form of energy):

ঘর্ষণের দ্বারা কার্য করলে সর্বদা তাপের সৃষ্টি হয়, এটা আমাদের সাধারণ অভিজ্ঞতা। বড়ো বড়ো যন্ত্রপাতির বিভিন্ন অংশগুলি ভালোভাবে পিচ্ছিলকারী তেল (lubricating oil) দ্বারা পিচ্ছিল না রাখলে ঘর্ষণের ফলে বেশ উত্তপ্ত হয়ে পড়ে তা তোমরা জন। আদিমকালে মানুষেরা পাথরে পাথর ঘষে আগুন জ্বালাত, তা ইতিহাস বই-এ পড়েছ। ঘর্ষণজনিত তাপের এইরূপ অসংখ্য উদাহরণ উল্লেখ করা যেতে পারে।

কোনো গ্যাসকে আবদ্ধ স্থানে রেখে চাপ দিলে কিছু কার্য সম্পাদিত হয়, তার ফলে তাপ উৎপন্ন হয়। সাইকেলের চাকা পাম্প করার সময় বা ফুটবল ব্লাডারে হাওয়া ভর্তি করার সময় এই ঘটনা হয়ত তোমরা লক্ষ করেছ।

গতিশক্তিকে রূপান্তরিত করে তাপশক্তি সৃষ্টির উদাহরণ প্রায়ই আমাদের চোখে পড়ে। কোনো মানুষ কিছুদূর বেশ জোরে দৌড়ালে তার দেহ উত্তপ্ত হয়। কামার যখন হাতুড়ি দিয়ে লোহা পেটায় তখন লোহা উত্তপ্ত হয়ে পড়ে। এগুলি গতিশক্তির তাপশক্তিতে রূপান্তরের দৃষ্টান্ত।

উপরিউক্ত উদাহরণগুলি থেকে বলা যায়, তাপ একপ্রকার শক্তি কারণ বিভিন্ন শক্তিকে তাপশক্তিতে বা তাপশক্তিকে অন্যান্য শক্তিতে রূপান্তর সম্ভব।

1.2. তাপগতিবিদ্যা (Thermodynamics):

পূর্বে তাপগতিবিদ্যায় কেবলমাত্র তাপশক্তি ও যান্ত্রিক শক্তির ভিতর পারস্পরিক সম্পর্ক বিষয়ে আলোচনা করা হত। কিন্তু বিজ্ঞানের অগ্রগতির ফলে তাপগতিবিদ্যার পরিসর খুবই বিস্তৃত হয়েছে। বর্তমানে যে-কোনো প্রকার শক্তি—যান্ত্রিক, রাসায়নিক, বৈদ্যুতিক ইত্যাদি এবং তাপ শক্তি কীভাবে পরস্পরের সঙ্গে সম্পর্কিত তা তাপগতিবিদ্যায় আলোচনা করা হয়।

প্রায় প্রত্যেক প্রাকৃতিক ঘটনার সাথে শক্তির পরিবর্তন ঘনিষ্ঠভাবে জড়িত। সুযোগ ও সুবিধামতো যে-কোনো শক্তিকে অন্য কোনো শক্তিতে রূপান্তর করা সম্ভব। সকল প্রকার শক্তির মধ্যে তাপশক্তি অনন্য কারণ দেখা যায় যে, সকল প্রকার শক্তি শেষ পর্যন্ত তাপশক্তিতে রূপান্তরিত হয়। বিভিন্ন প্রকার শক্তির তাপ শক্তিতে রূপান্তর এবং বিপরীতক্রমে তাপশক্তির অন্য বিভিন্ন শক্তিতে রূপান্তরের সূত্র এবং নিয়ম বর্তমানে তাপগতিবিদ্যার আলোচ্য বিষয়।

কোনো এক সংস্থার (system) আচরণবিধি আলোচনা করার দুটি পদ্ধতি আছে। প্রথমটিকে বলা হয় **আণুবীক্ষণিক আচরণ** (microscopic behaviour) যেখানে সংস্থার উপাদানের অণু-পরমাণুগুলির আচরণ বা ধর্ম বিচার করা হয় এবং অন্যটিকে বলা হয় **সমষ্টিগত আচরণ** (macroscopic behaviour) যেখানে সংস্থা যে অসংখ্য অণু-পরমাণু দ্বারা গঠিত তাদের সমষ্টিগত গড় ধর্ম বিচারবিবেচনা করা হয়। তাপগতিবিদ্যার আলোচনায় উষ্ণতা, চাপ, আয়তন, অভ্যন্তরীণ শক্তি প্রভৃতি রাশিগুলির অবতারণা

করতে হয়। এই রাশিগুলি প্রকৃতপক্ষে সংস্থার অসংখ্য অণু-পরমাণুর সমষ্টিগত ধর্মই প্রকাশ করে। গ্যাসের চাপ বলতে আমরা নির্দিষ্ট পরিমাণ গ্যাসের চাপই বুঝি; ঐ গ্যাসের বিশেষ একটি পরমাণু বা বিশেষ একটি অণুর চাপ বুঝি না। কাজেই তাপগতিবিদ্যায় আমরা সংস্থার সমষ্টিগত আচরণ বিবেচনা করব—অণুবীক্ষণিক আচরণ নয়।

দুটি সাধারণ প্রাকৃতিক সূত্রের উপর ভিত্তি করে তাপগতিবিদ্যা গড়ে উঠেছে। এই সূত্র দুটি তাপের কার্যে রূপান্তর অথবা কার্যের তাপে রূপান্তর প্রক্রিয়াকে নিয়ন্ত্রিত করে। প্রথম সূত্র—যাকে ‘তাপগতিবিদ্যার প্রথম সূত্র’ বলা হয়—তাপ ও যান্ত্রিক কার্যের ভিতর সম্পর্ক নির্দেশ করে এবং দ্বিতীয় সূত্র—যাকে বলা হয় ‘তাপগতিবিদ্যার দ্বিতীয় সূত্র’—নির্দেশ করে কীভাবে এই শক্তির পরিবর্তন ঘটে।

1.3. বস্তুর অভ্যন্তরীণ শক্তি (Internal energy of a body) :

গ্যাসের গতিয় তত্ত্ব হতে আমরা জানতে পারি যে গ্যাস অণুগুলির গড় গতিশক্তি গ্যাসের তাপমাত্রার সমানুপাতিক। পদার্থের অণুগুলির গতিশক্তি ছাড়া অণুগঠনকারী পরমাণুগুলির ভিতর পারস্পরিক আকর্ষণ ও বিকর্ষণ ক্রিয়ার জন্য কিছু স্থিতিশক্তি থাকে। কোনো বস্তুর অণুগুলির গতিশক্তি ও স্থিতিশক্তির সমষ্টিকে অর্থাৎ অণুগুলির মোট যান্ত্রিক শক্তিকে অভ্যন্তরীণ শক্তি বলে। বস্তুকে উত্তপ্ত করলে, তাপশক্তির কিছু অংশ বস্তুর অভ্যন্তরীণ শক্তি বৃদ্ধি করে। ফলে বস্তুর তাপমাত্রার বৃদ্ধি ঘটে—কখনও বা অবস্থান্তরও ঘটে।

বস্তুর প্রকৃত অভ্যন্তরীণ শক্তি পরিমাপের কোনো উপায় নেই। কিন্তু তাতে কোনো অসুবিধা হয় না কারণ বাস্তবক্ষেত্রে আমাদের প্রকৃত অভ্যন্তরীণ শক্তি জানবার প্রয়োজন হয় না; প্রয়োজন হয় অভ্যন্তরীণ শক্তির পরিবর্তন জানবার। এই পরিবর্তন নিখুঁতভাবে পরিমাপ করবার ব্যবস্থা আছে।

গ্যাস অণুর তাপজ গতি (thermal motion) সম্পূর্ণ অবিন্যস্ত বা এলোমেলো (random); তাই একে ‘তাপজ উত্তেজনা’ (thermal agitation) বলা যুক্তিসঙ্গত। একথা মনে রাখা দরকার যে গ্যাসের অভ্যন্তরীণ শক্তি অণুর তাপজ গতির উপরই নির্ভরশীল—গ্যাসের সমগ্র গতির (bulk motion) উপর নির্ভরশীল নয়। যেমন, এক সিলিন্ডার হাইড্রোজেনকে মোটরগাড়ি করে বেগে নিয়ে গেলে, গ্যাসের সমগ্র গতিশক্তি বৃদ্ধি পায় কিন্তু সিলিন্ডারের সাপেক্ষে অণুগুলির তাপজ গতির কোনো পরিবর্তন হয় না। তাই তার তাপমাত্রারও কোনো পরিবর্তন হয় না।

অনুরূপভাবে, কোনো কঠিন পদার্থের অভ্যন্তরীণ শক্তি পদার্থের অণুগুলির কম্পনজনিত গতিশক্তির উপর নির্ভর করে। এই কারণে একখণ্ড লোহাকে বায়ুমধ্যে জোরে ছুড়ে দিলে তার সমগ্র গতিশক্তি বৃদ্ধি পাবে কিন্তু অভ্যন্তরীণ শক্তির কোনো পরিবর্তন হবে না; ফলে তার তাপমাত্রারও কোনো পরিবর্তন হবে না। কিন্তু ঐ টুকরোকে হাতুড়ি দিয়ে পেটালে, তার তাপমাত্রা বৃদ্ধি পাবে। কেন ?

1.4. তাপগতিবিদ্যা সংক্রান্ত কয়েকটি রাশি (A few terms in thermodynamics) :

(i) তাপগতীয় সংস্থা (Thermodynamic system) : তাপগতীয় সংস্থা বলতে অসংখ্য অণু বা পরমাণুর সমষ্টিগত সংস্থা বুঝায়—যে সংস্থার নির্দিষ্ট আয়তন, চাপ এবং তাপমাত্রা থাকে।

(ii) পরিপার্শ্ব (Surroundings) : কোনো তাপগতীয় সংস্থার চতুর্দিকস্থ পরিবেশ যা ঐ সংস্থার ওপর সরাসরি প্রভাব বিস্তার করতে পারে, তাকে ঐ সংস্থার পরিপার্শ্ব বলে।

মনে করো, আমরা কিছু পরিমাণ গ্যাসকে মসৃণ পিস্টন দ্বারা একটি চোঙের মধ্যে আবদ্ধ রাখলাম। এক্ষেত্রে গ্যাসকে বলা হবে তাপগতীয় সংস্থা। চোঙের চতুর্দিকস্থ বায়ুমণ্ডল হবে পরিপার্শ্ব। গতিশীল চোঙকেও পরিপার্শ্ব বলা হবে কারণ গ্যাসের উপর পিস্টনেরও প্রভাব আছে।

যে সংস্থা পরিপার্শ্বের সাথে শক্তি এবং পদার্থ উভয়েরই আদানপ্রদান করতে সক্ষম তাকে মুক্ত (open)

সংস্থা বলে। এরকম সংস্থার মধ্যে পদার্থ ও শক্তি যোগ বা অপসারণ সম্ভব। অপরপক্ষে যে সংস্থা পরিপার্শ্বের সাথে শক্তি বা পদার্থের কোনোরূপ আদানপ্রদান করে না, তাকে বলা হয় **বিচ্ছিন্ন** (isolated) সংস্থা। বিচ্ছিন্ন সংস্থার বেলায় ভর বা শক্তি যোগ বা অপসারণ করা যাবে না। আবার যে সংস্থা পরিপার্শ্বের সাথে কেবলমাত্র শক্তির বিনিময় করে কিন্তু পদার্থের বিনিময় করে না, তাকে বলা হয় **বন্ধ** (closed) সংস্থা। এই ধরনের সংস্থার মধ্যে কোনো পদার্থ যোগ করা বা তার থেকে কোনো পদার্থ অপসারিত করা যাবে না।

(iii) **তাপগতীয় প্রাচল (Thermodynamic variables or parameters)** : কোনো তাপগতীয় সংস্থার অবস্থা ঐ সংস্থার উষ্ণতা (T), আয়তন (V), চাপ (P), অভ্যন্তরীণ শক্তি (U) প্রভৃতির দ্বারা নির্দিষ্ট হয়। এদের বলা হয় ঐ সংস্থার তাপগতীয় প্রাচল।

কোনো তাপগতীয় সংস্থার কতকগুলি প্রাচল (parameters) থাকে যেগুলি পরিমাপসাহ্য। যখন উক্ত প্রাচলগুলিকে সঠিকভাবে নির্দেশ করা থাকে তখন আমরা বলি যে সংস্থাটির তাপগতীয় অবস্থা সুনির্দিষ্ট হল। অবশ্য ঐ প্রাচলগুলির সবকটিই পরস্পরের সাপেক্ষে স্বাধীন (independent) নয়। যেমন, আমরা কোনো আদর্শ গ্যাসের চাপ, আয়তন, উষ্ণতা, অভ্যন্তরীণ শক্তি ইত্যাদি প্রাচলগুলি পরিমাপ করতে পারি। কিন্তু চাপ ও আয়তন নির্দিষ্ট হলে, অন্যান্য প্রাচলগুলি আমরা হিসাব করতে পারি। কাজেই কোনো আদর্শ গ্যাসের চাপ ও আয়তন জানা থাকলে তার তাপগতীয় অবস্থার পূর্ণ বিবরণ পাওয়া যেতে পারে। ঐ সংস্থার উপর কোনো তাপগতীয় প্রক্রিয়া (thermodynamic process) সংঘটিত হলে, সংস্থা এক তাপগতীয় অবস্থা হতে অন্য তাপগতীয় অবস্থায় উত্তীর্ণ হয়।

তাপগতীয় প্রাচল দু-রকম হতে পারে; যথা (i) **তীব্র** (intensive) এবং (ii) **ব্যাপক** (extensive)। কোনো এক তাপগতীয় অবস্থায় সংস্থার প্রাচলগুলি যদি সংস্থার ভর অথবা সংস্থার কণা-সংখ্যার উপর নির্ভর না করে তবে তাদের তীব্র প্রাচল বলে। অপরপক্ষে ব্যাপক প্রাচলগুলি সংস্থার ভর অথবা সংস্থার কণা-সংখ্যার সমানুপাতিক। যেমন, চাপ, ঘনত্ব, আপেক্ষিক গুরুত্ব ও উষ্ণতা তীব্র প্রাচল কিন্তু আয়তন, আপেক্ষিক তাপ, এনট্রপি প্রভৃতি ব্যাপক প্রাচল।

(iv) **তাপগতীয় অবস্থা (Thermodynamic state)** : কোনো সংস্থার তাপগতীয় অবস্থার বর্ণনা করতে হলে কয়েকটি প্রাচলের সাহায্য নিতে হয়। যেমন, কোনো গ্যাসীয় সংস্থার তাপগতীয় অবস্থা তার চাপ (P), আয়তন (V) এবং তাপমাত্রা (T) দ্বারা সুনির্দিষ্ট হয়। এই তিনটি প্রাচলের মধ্যে দুটি প্রাচল স্বাধীন; তৃতীয়টি এদের উপর নির্ভরশীল অর্থাৎ এদের অপেক্ষক (function)। যেমন, নির্দিষ্ট পরিমাণ গ্যাস নিয়ে যদি তার চাপ (P) কোনো নির্দিষ্ট মানে স্থির রাখা যায় তবে বিভিন্ন তাপমাত্রায় (T) ঐ গ্যাসের আয়তন হবে ভিন্ন। কিন্তু তাপমাত্রাও যদি স্থির রাখা যায় তবে আয়তনও স্থির মান পাবে। সুতরাং গ্যাসের আয়তন তাপমাত্রা ও চাপের অপেক্ষক। আবার আয়তন (V) এবং তাপমাত্রা (T) স্থির রাখলে, ঐ গ্যাসের চাপ (P)-ও একটি নির্দিষ্ট মান পাবে। এভাবে, তিনটি প্রাচলের দুটির মান সুনির্দিষ্ট করলে, তৃতীয়টি আপনা হতেই সুনির্দিষ্ট হবে। অতএব, দেখা যাচ্ছে যে-কোনো সংস্থার তাপগতীয় অবস্থা বোঝাবার জন্য দুটি প্রাচলই যথেষ্ট। এই প্রাচলগুলিকে বলা হয় তাপগতীয় স্থানাঙ্ক (thermodynamic co-ordinates)। কার্টেসীয় নির্দেশতন্ত্রের কোনো বিন্দুর স্থানাঙ্ক (x, y, z) জানা থাকলে যেমন বিন্দুটির অবস্থান নির্দেশ করা যায়, তেমনি সংস্থার তাপগতীয় স্থানাঙ্ক (P, V, T) জানা থাকলে ঐ সংস্থার তাপগতীয় অবস্থার নির্দেশ পাওয়া যায়। সংস্থার উপর কোনো তাপগতীয় প্রক্রিয়া সম্পন্ন করলে সংস্থার স্থানাঙ্ক পরিবর্তিত হবে এবং সংস্থা এক তাপগতীয় অবস্থা হতে অন্য এক তাপগতীয় অবস্থায় উত্তীর্ণ হবে।

1.5.

তাপগতিবিদ্যার প্রথম সূত্র এবং তাপের যান্ত্রিক তুল্যাঙ্ক
(First law of thermodynamics and mechanical equivalent of heat) :

তাপবিজ্ঞানের যে শাখা তাপ ও যান্ত্রিক শক্তির ভিতর সম্পর্ক নিয়ে আলোচনা করে তাকে পূর্বে

‘তাপগতিবিদ্যা’ (thermodynamics) বলা হত। আজকাল অবশ্য তাপগতিবিদ্যার পরিধি বিস্তৃত হয়েছে এবং যে-কোনো শক্তিতে তাপের রূপান্তর সম্পর্কিত বিষয় আলোচিত হচ্ছে, একথা পূর্বেই উল্লেখ করা হয়েছে। যখনই কার্য করা হয় তখনই তাপ উৎপন্ন হয় এবং কৃতকার্য ও উৎপন্ন তাপ সর্বদা সমানুপাতিক। একেই তাপগতিবিদ্যার প্রথম সূত্র বলে। যদি W কার্যকে সম্পূর্ণরূপে রূপান্তরিত করে Q তাপ উৎপন্ন করা হয়, তবে $W \propto Q$ অথবা, $\frac{W}{Q} = \text{ধ্রুবক}$ ।

এই ধ্রুবককে তাপের যান্ত্রিক তুল্যাঙ্ক (mechanical equivalent) বা জুল তুল্যাঙ্ক (Joule equivalent) বলা হয় এবং J অক্ষর দ্বারা প্রকাশ করা হয়। সুতরাং,

$$\frac{W}{Q} = J \text{ অথবা, } W = JQ.$$

ক্লাসিয়াস প্রথম সূত্রে আরও ব্যাপক অর্থে প্রয়োগ করেছিলেন। সাধারণভাবে যখনই কোনো বস্তুতে তাপ সরবরাহ করা হয়, তখন তাপের কিছু অংশ বস্তুর অভ্যন্তরীণ শক্তি বৃদ্ধি করতে অর্থাৎ তাপমাত্রা বৃদ্ধি করতে ব্যয়িত হয় এবং বাকি অংশ দ্বারা বস্তু কিছু বাহ্য কাজ (external work) সম্পন্ন করে। যেমন, কোনো বস্তু তাপ শোষণ করে আয়তনে প্রসারিত হলে বাহ্য চাপের বিরুদ্ধে কিছু বাহ্য কার্য সম্পাদিত হবে।

অতএব, প্রদত্ত তাপ = অভ্যন্তরীণ শক্তি বৃদ্ধি + বাহ্য কাজ।

যদি সামান্য পরিমাণ প্রদত্ত তাপ হয় dQ এবং সামান্য পরিমাণ অভ্যন্তরীণ শক্তি বৃদ্ধি এবং কৃত বাহ্য কাজ যথাক্রমে dU এবং dW হয় তবে, $dQ = dU + dW$ ।

ক্লাসিয়াস প্রথম সূত্রে সাধারণভাবে উক্ত সমীকরণ দ্বারা প্রকাশ করেছিলেন। এটা স্পষ্ট যে, এই সমীকরণ ‘শক্তির নিত্যতা’ এই সাধারণ সূত্রেরই এক বিশেষ রূপ। ক্লাসিয়াসের মতানুযায়ী তাপগতিবিদ্যার প্রথম সূত্রের নিম্নলিখিত সংজ্ঞা দেওয়া যেতে পারে :

বাহ্য কাজ সম্পন্ন করতে সক্ষম এরূপ কোনো সংস্থাকে (system) তাপ সরবরাহ করলে সংস্থা কর্তৃক শোষিত তাপ এই সংস্থার অভ্যন্তরীণ শক্তিবৃদ্ধি ও সংস্থা কর্তৃক কৃত বাহ্য কার্যের সমষ্টির সমান হবে।

একথা মনে রাখা দরকার যে সংস্থা যখন নিজে কার্য সম্পন্ন করে তখন dW ধনাত্মক ; আবার সংস্থার উপর কার্য করা হলে dW ঋণাত্মক। সংস্থায় তাপ সরবরাহ করলে dQ ধনাত্মক ; আবার সংস্থা তাপ সরবরাহ করলে dQ ঋণাত্মক। dW ধনাত্মক হলে সংস্থার অভ্যন্তরীণ শক্তি হ্রাস পায় ; dQ ধনাত্মক হলে অভ্যন্তরীণ শক্তি বৃদ্ধি পায়।

● প্রথম সূত্রের তাৎপর্য

তাপগতিবিদ্যার প্রথম সূত্রের তাৎপর্য এই যে এই সূত্র তাপ এবং কার্যের ভিতর সম্পর্ক স্থাপন করে। এই সূত্র বলে যে, নির্দিষ্ট পরিমাণ কার্য পেতে গেলে নির্দিষ্ট পরিমাণ তাপের প্রয়োজন অথবা নির্দিষ্ট পরিমাণ তাপ পেতে গেলে নির্দিষ্ট পরিমাণ কার্য সম্পন্ন করা প্রয়োজন। কোনো কিছু ব্যয় না করে কার্য অথবা শক্তি পাওয়া সম্ভব নয়। এমন কোনো যন্ত্র উদ্ভাবন করা সম্ভব নয় যা জ্বালানি ব্যতিরেকে কাজ করতে সক্ষম।

1.6. J-র সংজ্ঞা ও একক (Definition and units of J):

$W = J.Q$. সমীকরণে $Q = 1$ বসালে $W = J$ হয় অর্থাৎ একক পরিমাণ তাপ উৎপন্ন করতে যে পরিমাণ কার্য করা দরকার তাকেই তাপের যান্ত্রিক তুল্যাঙ্ক বলা হয়।

(i) সি. জি. এস. একক : যদি কার্য আর্গে ও তাপ ক্যালরিতে প্রকাশ করা হয় তবে $J = 4.2 \times 10^7$ erg/cal অর্থাৎ, 4.2×10^7 erg কার্য সম্পূর্ণরূপে তাপে রূপান্তরিত হলে 1 ক্যালরি তাপ উৎপন্ন হবে।

1 ক্যালরি = 4.2×10^7 আর্গ। এটাই আর্গ ও ক্যালরির পারস্পরিক সম্পর্ক।

যেহেতু, 1 joule = 10^7 erg, কাজেই, J-মান মান 4.2 joule/cal এভাবেও লেখা যেতে পারে।

(ii) এস. আই. পদ্ধতিতে কার্য ও তাপ উভয়কেই ‘জুল’ এককে পরিমাপ করা হয়। এই কারণে এস. আই. পদ্ধতিতে $Q = W$

দেখা যাচ্ছে যে কার্য এবং তাপ শক্তির দুই তুল্য রাশি (equivalent terms)। তথাপি তাদের পার্থক্য বুঝে রাখা দরকার। কার্য হল যান্ত্রিক শক্তির স্থানান্তর। এটা তাপমাত্রা পার্থক্যের উপর নির্ভরশীল নয়। তাপ হল তাপীয় শক্তির স্থানান্তর। এটা তাপমাত্রা পার্থক্যের উপর নির্ভরশীল।

আরও লক্ষ কর, এস. আই. পদ্ধতিতে তাপের যান্ত্রিক তুল্যাঙ্ক রাশিটির প্রয়োজন নেই।

□ EXAMPLE □

1. -10°C উষ্ণতার 100 g বরফকে 100°C উষ্ণতার স্টিমে পরিণত করতে কত কার্য করতে হবে? বরফ গলনের লীনতাপ $L_f = 80 \text{ cal/g}$; বরফের আঃ তাপ $= 0.5$. স্টিমের লীনতাপ $L_s = 540 \text{ cal/g}$ ।

উঃ। -10°C উষ্ণতার 100 g বরফকে 100°C উষ্ণতার স্টিমে পরিণত করতে প্রয়োজনীয় তাপ $Q = 100 \times 0.5 \times [0 - (-10)] + 100 \times 80 + 100 \times (100 - 0) + 100 \times 540 = 72500 \text{ cal}$.

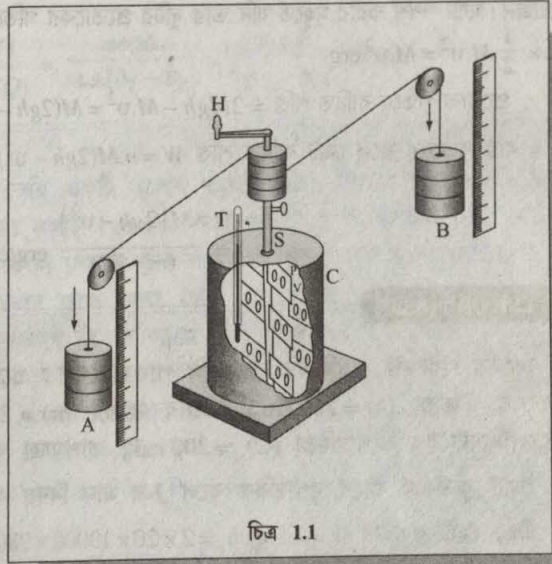
\therefore কৃতকার্য $W = J.Q. = 4.2 \times 10^7 \times 72500 = 3045 \times 10^9 \text{ erg (cgs)}$
 $= 3045 \times 10^2 \text{ joule (SI)}.$

1.7.

(ক) জুলের পরীক্ষা; J-এর মান নির্ণয় (Joule's experiment; Determination of the value of J):

রূপান্তরিত কার্য ও উৎপন্ন তাপের অনুপাত সর্বদা ধ্রুবক এটা সর্বপ্রথম জুল পরীক্ষা করে দেখান এবং J-র মান নির্ণয় করেন। পরীক্ষার উপযুক্ত ব্যবস্থা 1.1 নং চিত্রে দেখানো হল।

বিবরণ : C-একটি ক্যালোরিমিটার। এর মধ্যে কিছু পরিমাণ জল রাখা হয়। ক্যালোরিমিটারের গায়ে কতকগুলি পাত (V) আটকানো আছে। এই পাতগুলি ক্যালোরিমিটারের অক্ষের দিকে প্রসারিত। ক্যালোরিমিটারের অক্ষ বরাবর একটি দণ্ড আছে এবং এর গায়েও কতকগুলি পাত (P) আটকানো আছে। S দণ্ড ঘুরলে P পাতগুলি V পাতের ফাঁকের মধ্য দিয়ে ঘুরতে পারে। S দণ্ডের সাথে কপিকলের সাহায্যে দুটি একই রকম ভার A ও B যুক্ত আছে। ছেড়ে দিলে ভার দুটি নীচে পড়বে এবং সঙ্গে সঙ্গে S দণ্ড ঘুরবে। ফলে, ক্যালোরিমিটারের জলে আবর্তন সৃষ্টি হবে। কিন্তু ক্যালোরিমিটারের গায়ে



চিত্র 1.1

আটকান V-পাতগুলি জলের আবর্তনকে বাধা দিতে চেষ্টা করবে। তাতে জলের গতিশক্তি তাপে রূপান্তরিত হয়ে জলের তাপমাত্রা বৃদ্ধি করবে। A ও B ভার দুটি মাটি স্পর্শ করার পূর্ব মুহূর্তে যথাস্থানে গুটিয়ে তোলার জন্য একটি হাতল H দেওয়া আছে। A ও B-কে গোটাবার সময় দণ্ড হতে এদের আলাদা করার জন্য একটি পিন থাকে। এভাবে ভার দুটিকে কয়েকবার নির্দিষ্ট উচ্চতা হতে পড়তে দেওয়া হয়। ভার দুটি যে উচ্চতা হতে পড়ছে তা জানার জন্য তাদের পাশে দুটি স্কেল রাখা থাকে। T একটি থার্মোমিটার যা ক্যালোরিমিটারের জলে ডোবানো থাকে।

পরীক্ষা : সর্বপ্রথম জল ওজন করে নিয়ে তার প্রারম্ভিক (initial) তাপমাত্রা দেখতে হবে। অতঃপর A ও B ভার দুটিকে কয়েকবার নির্দিষ্ট উচ্চতা হতে পড়তে দিতে হবে। এর ফলে জলের তাপমাত্রা বৃদ্ধি পাবে এবং সেই বর্ধিত চূড়ান্ত (final) তাপমাত্রা পড়তে হবে।

ধরো, A ও B ভারদ্বয়ের প্রত্যেকের ভর = M g.

যে উচ্চতা হতে তারা পড়ে = h cm.

সুতরাং প্রত্যেক পতনে A অথবা B যে কার্য করে তাহা = $M.g.h$. erg

∴ ভারদ্বয় কর্তৃক মোট কৃতকার্য = $2 M.g.h$. erg

ভারদ্বয়কে n বার পড়তে দেওয়া হলে, মোট কৃতকার্য $W = 2n.M.g.h$. erg.

যদি জলের ভর হয় m g ও ক্যালোরিমিটারের তাপগ্রাহিতা C cal এবং তাপমাত্রা বৃদ্ধি $t^{\circ}\text{C}$ হয়, তবে উৎপন্ন তাপ $Q = (m + C).t$ cal.

$$\therefore J = \frac{\text{কৃতকার্য (W)}}{\text{উৎপন্ন তাপ (Q)}} = \frac{2n.M.g.h}{(m + C)t} \text{ erg/cal}$$

এই সমীকরণের সব কিছু জানা থাকায় J -এর মান নির্ণয় করা যাবে।

● **শুদ্ধি (Correction) :** উপরোক্ত সমীকরণে ধরে নেওয়া হয়েছে যে, ভার দুটির পূর্ণ স্থিতিশক্তিই জলকে উত্তপ্ত করার জন্য প্রয়োজনীয় তাপশক্তিতে রূপান্তরিত হয়েছে। প্রকৃতপক্ষে তা হয় না। মাটি স্পর্শ করার পূর্বমুহূর্তে ভার দুটির কিছু গতিবেগ থাকে। তার দরুন তারা যে গতিশক্তির অধিকারী হয় তা পূর্ণ স্থিতিশক্তি হতে বাদ দিলে অবশিষ্ট শক্তি তাপে পরিণত হয়। এই কারণে উপরোক্ত সমীকরণে কিছু শুদ্ধির প্রয়োজন। মাটি স্পর্শ করার মুহূর্তে যদি ভার দুটির প্রত্যেকের গতিবেগ v হয় তবে তাদের মোট গতিশক্তি

$$= 2 \times \frac{1}{2} M.v^2 = M.v^2 \text{ erg}$$

$$\therefore \text{প্রত্যেক পতনে ব্যয়িত শক্তি} = 2Mgh - M.v^2 = M(2gh - v^2) \text{ erg}$$

$$n \text{ বার পতনের ফলে মোট ব্যয়িত শক্তি } W = n.M(2gh - v^2) \text{ erg}$$

$$\therefore J = \frac{nM(2gh - v^2)}{(m + W)t} \text{ erg/cal.}$$

□ EXAMPLE □

জুলের পরীক্ষায় নিম্নলিখিত তথ্যগুলি পাওয়া গেল : প্রত্যেকটি ভর (M) = 13 kg ; প্রত্যেক পতনের উচ্চতা (h) = 160 cm ; পতনের সংখ্যা (n) = 20 ; জলের ভর (m) = 6,000 g ; ক্যালোরিমিটারের তাপগ্রাহিতা (C) = 300 cal ; তাপমাত্রা বৃদ্ধি = 0.3°C

মোট কৃতকার্য তাপে রূপান্তরিত হলে J -র মান নির্ণয় করো।

$$\text{উঃ। মোট কৃতকার্য } W = 2n.Mgh = 2 \times 20 \times 13000 \times 980 \times 160 \\ = 8.15 \times 10^{10} \text{ erg.}$$

$$\text{উৎপন্ন তাপ } Q = (m + C)t = (6000 + 300) \times 0.3 = 1890 \text{ cal.}$$

$$\text{সুতরাং, } J = \frac{W}{Q} = \frac{8.15 \times 10^{10}}{1890} = 4.3 \times 10^7 \text{ erg/cal.}$$

(খ) কার্ডবোর্ড নল এবং সিসা-গোলক পরীক্ষা (Cardboard tube and lead shots experiment):

এই পরীক্ষার সাহায্যে গবেষণাগারে J-র মান মোটামুটি নির্ণয় করা যায়। কর্ক দ্বারা দুই মুখ বন্ধ প্রায় এক মিটার লম্বা কার্ড বোর্ডের নল নাও। ছোটো ছোটো কিছু সিসা-গোলক নিয়ে একটি থার্মোমিটারের সাহায্যে তাদের প্রাথমিক তাপমাত্রা দেখে রাখ। নলকে অনুভূমিক অবস্থায় রেখে এক মুখের কর্ক খোল এবং ঐ মুখের ভিতর দিয়ে সিসা গোলকগুলিকে নলের ভিতর ঢুকাও। নলের মুখ কর্ক দিয়ে বন্ধ করার পর নলটিকে হঠাৎ উল্টাও (চিত্র 1.2)। এতে সব সিসা-গোলকগুলি নলের এক প্রান্ত হতে অপর প্রান্তে পড়বে। নলকে এইরূপ দ্রুত কয়েকবার উল্টাও যাতে সব সিসা-গোলক কয়েকবার নলের একপ্রান্ত হতে অপর প্রান্তে পড়তে পারে। এই কার্যের ফলে সিসা-গোলকগুলির তাপমাত্রা বৃদ্ধি পাবে। থার্মোমিটারের সাহায্যে গোলকগুলির অন্তিম তাপমাত্রা লক্ষ্য করো।

গণনা : প্রত্যেকবার নল উল্টালে মনে করো, সিসা-গোলক যে গড় উচ্চতা অবতরণ করে তা $= h$ cm. সিসা-গোলকের মোট ভর m g হলে, প্রত্যেক পতনে কৃতকার্য $= mgh$ erg.

নলকে n বার উল্টানো হলে, মোট কৃতকার্য $W = nmgh$ erg. ধরো, সিসা-গোলকের প্রাথমিক উষ্ণতা $= \theta_1$ এবং চূড়ান্ত বর্ধিত উষ্ণতা $= \theta_2$; সিসার আপেক্ষিক তাপ s হলে, সিসা কর্তৃক গৃহীত তাপ $Q = m.s.(\theta_2 - \theta_1)$ cal. কৃতকার্য সম্পূর্ণরূপে তাপে রূপান্তরিত হলে,

$$J = \frac{\text{কৃতকার্য (W)}}{\text{উৎপন্ন তাপ (Q)}} = \frac{nmgh}{m.s.(\theta_2 - \theta_1)} = \frac{n.g.h}{s(\theta_2 - \theta_1)} \text{ erg./cal.}$$

□ EXAMPLE □

তাপ অপরিবাহী বস্তুর দ্বারা তৈরি একটি নলের মধ্যে 800 g সিসার গুলি ভর্তি করে নলের দুই মাথা বন্ধ করা হয়েছে। নলটি 1 metre লম্বা ও তাকে উল্লম্বভাবে ধরা আছে। নলটিকে হঠাৎ উল্টানো হল যার ফলে সিসার গুলি কটি এক মাথা হতে অন্য মাথায় এসে পড়ল। 50 বার এই রকম উল্টানোর ফলে দেখা গেল যে সিসার গুলির উষ্ণতা 3.89°C বৃদ্ধি পেয়েছে। উৎপন্ন তাপ সম্পূর্ণভাবে সিসায় আছে ধরে নিয়ে তাপের যান্ত্রিক তুল্যাক্ষের মান বার করো। সিসার আপেক্ষিক তাপ $= 0.03$

উঃ। প্রত্যেক পতনে কৃতকার্য $= mgh = 800 \times 980 \times 100 = 8 \times 98 \times 10^5$ erg.

50 বার পতনে মোট কৃতকার্য $(W) = 50 \times 8 \times 98 \times 10^5 \text{ erg} = 4 \times 98 \times 10^7 \text{ erg.}$

সিসা-গুলি কর্তৃক গৃহীত তাপ $(Q) = m.s.\theta = 800 \times 0.03 \times 3.89 \text{ cal} = 24 \times 3.89 \text{ cal.}$

$$J = \frac{\text{কৃতকার্য (W)}}{\text{উৎপন্ন তাপ (Q)}} = \frac{4 \times 98 \times 10^7}{24 \times 3.89} \text{ erg./cal.} = 4.2 \times 10^7 \text{ erg/cal (প্রায়)।}$$

1.8. গ্যাসের আপেক্ষিক তাপ (Specific heat of gases):

সাধারণভাবে আপেক্ষিক তাপ বলতে আমরা বুঝি একক ভরের কোনো পদার্থে যে পরিমাণ তাপ (Q) সরবরাহ করা হয় এবং তার জন্য ঐ পদার্থের যে তাপমাত্রা বৃদ্ধি (θ) হয়—এই দুইয়ের অনুপাত

$\left(S = \frac{Q}{\theta}\right)$ । কিন্তু এই সংজ্ঞা কঠিন ও তরলের বেলায় প্রযোজ্য হলেও গ্যাসের বেলায় প্রযোজ্য নয়।

মনে করো, আমরা একক ভরের কোনো গ্যাস নিয়ে হঠাৎ চাপ দিয়ে তাকে সংকুচিত করলাম। এতে গ্যাসের তাপমাত্রা বৃদ্ধি পাবে যদিও বাইরে থেকে গ্যাসে কোনো তাপ সরবরাহ করা হল না। এক্ষেত্রে

সরবরাহ করা তাপ এবং তাপমাত্রা বৃদ্ধির অনুপাত—অর্থাৎ গ্যাসের আপেক্ষিক তাপ $\left(S = \frac{Q}{\theta} = \frac{0}{\theta} = 0\right)$

শূন্য হবে। আবার মনে করো, ঐ গ্যাসকে হঠাৎ সম্প্রসারিত করা হল। এতে গ্যাসের তাপমাত্রা হ্রাস পাবে কিন্তু বাইরে থেকে নির্দিষ্ট পরিমাণ তাপ সরবরাহ করে তাপমাত্রা হ্রাস প্রতিরোধ করা হলে, গ্যাসের তাপমাত্রা অপরিবর্তিত থাকবে। এক্ষেত্রে দেখা যাচ্ছে যে, বাইরে থেকে গ্যাসে তাপ সরবরাহ করা হল বটে কিন্তু গ্যাসের তাপমাত্রার কোনো পরিবর্তন হল না। ফলে সরবরাহ করা তাপ এবং তাপমাত্রা পরিবর্তনের

অনুপাত—অর্থাৎ গ্যাসের আপেক্ষিক তাপ $\left(S = \frac{Q}{\theta} = \frac{Q}{0} = \infty\right)$ অসীম হবে। উপরোক্ত সংজ্ঞা অনুযায়ী

কোনো গ্যাসের আপেক্ষিক তাপ ধনাত্মক ও ঋণাত্মক মানসহ শূন্য হতে অসীম পর্যন্ত যে-কোনো মান পেতে পারে। এটি একটি অবাস্তব ব্যাপার। এই অবাস্তবতার কারণ এই যে যখন নির্দিষ্ট পরিমাণ গ্যাসকে উত্তপ্ত করা হয় তখন তার তাপমাত্রা বৃদ্ধির সঙ্গে সাধারণভাবে আয়তন ও চাপেরও বৃদ্ধি হয়। কিন্তু কোনো কঠিন বা তরল পদার্থকে তাপ দিলে শুধুমাত্র তার তাপমাত্রাই পরিবর্তন হয়, চাপ বা আয়তনের কোনো উল্লেখযোগ্য পরিবর্তন হয় না। গ্যাসের আচরণবিধি চাপ, আয়তন ও তাপমাত্রা—এই তিনটি রাশির উপর নির্ভরশীল বলে গ্যাসের আপেক্ষিক তাপের সংজ্ঞায় আয়তন ও চাপ নির্দিষ্ট করে দেওয়া প্রয়োজন। আমরা নির্দিষ্ট পরিমাণ গ্যাসের আয়তন স্থির রেখে তাপপ্রয়োগে তার তাপমাত্রা বৃদ্ধি করতে পারি; আবার চাপ স্থির রেখে তাপপ্রয়োগে গ্যাসের তাপমাত্রা বৃদ্ধি করতে পারি। প্রথম ক্ষেত্রে গ্যাসের চাপ বৃদ্ধি পায় কিন্তু আয়তন স্থির থাকে এবং দ্বিতীয় ক্ষেত্রে আয়তন বৃদ্ধি পায় কিন্তু চাপ স্থির থাকে। সুতরাং গ্যাসের আপেক্ষিক তাপের সংজ্ঞা সুনির্দিষ্ট করতে হলে আয়তন বা চাপের যে-কোনো একটিকে স্থির রাখতে হবে। এই কারণে গ্যাসের দুটি আপেক্ষিক তাপ আছে বলে গণ্য করা হয় :

(i) স্থির আয়তনে আপেক্ষিক তাপ (Specific heat at constant volume) এবং (ii) স্থির চাপে আপেক্ষিক তাপ (Specific heat at constant pressure)। কিন্তু কঠিন ও তরল পদার্থের একটি মাত্র আপেক্ষিক তাপ থাকে কারণ তাপমাত্রা বৃদ্ধিতে তাদের আয়তন বা চাপ বৃদ্ধি খুবই নগণ্য।

সংজ্ঞা : স্থির আয়তনে আপেক্ষিক তাপ (C_v) বলতে সেই পরিমাণ তাপ বুঝায় যা আয়তনের কোনো পরিবর্তন না করে একক ভর গ্যাসের 1°C উষ্ণতা বৃদ্ধি করে।

সুতরাং, স্থির আয়তনে 1 g গ্যাসের 1°C উষ্ণতা বৃদ্ধিতে $C_v\text{ cal}$ ক্যালরি তাপ লাগবে। C_v -এর একক $\text{cal/g}^\circ\text{C}$ ।

এখন গ্যাসের আণবিক ভর M হলে, M গ্রাম গ্যাসের আয়তন পরিবর্তন না করে 1°C উষ্ণতা বৃদ্ধি করতে যে-তাপ লাগবে তা $= M.C_v$; একে বলা হয় **মোলার আপেক্ষিক তাপ** (molar specific heat)। একে ছোটো হাতের c দিয়ে বুঝানো হয়। অতএব, স্থির আয়তনে মোলার আপেক্ষিক তাপ $c_v = M.C_v$ । যেমন, হাইড্রোজেনের আণবিক ভর 2 এবং স্থির আয়তনে আপেক্ষিক তাপ $C_v = 2.41$ সুতরাং স্থির আয়তনে হাইড্রোজেনের মোলার আপেক্ষিক তাপ $c_v = 2 \times 2.41 = 4.82\text{ cal/mol}^\circ\text{C}$ ।

সংজ্ঞা : স্থির চাপে গ্যাসের আপেক্ষিক তাপ (C_p) বলতে সেই পরিমাণ তাপ বুঝায় যা চাপের কোনো পরিবর্তন না করে একক ভর গ্যাসের 1° উষ্ণতা বৃদ্ধি করে।

সুতরাং, স্থিরচাপে 1 g গ্যাসের 1°C উষ্ণতা বৃদ্ধিতে $C_p\text{ cal}$ তাপ লাগবে। C_p -এর একক $\text{cal/g}^\circ\text{C}$ ।

পূর্বের ন্যায়, গ্যাসের আণবিক ভর M হলে, স্থির চাপে মোলার আপেক্ষিক তাপ $c_p = MC_p$ । হাইড্রোজেনের স্থির চাপে আপেক্ষিক তাপ $C_p = 3.4 \text{ cal/g}$ । অতএব স্থির চাপে মোলার আপেক্ষিক তাপ $c_p = 2 \times 3.4 = 6.8 \text{ cal/mol}^\circ\text{C}$ ।

[দ্রষ্টব্য : একক ভর—অর্থাৎ 1 g গ্যাসের আপেক্ষিক তাপ—কে অনেক সময় ঐ গ্যাসের মুখ্য আপেক্ষিক তাপ (principal specific heat) বলা হয়।]

1.9. C_p হতে C_p বড়ো (C_p is greater than C_v) :

আয়তন স্থির রেখে কিছু গ্যাসে তাপ প্রদান করলে, গ্যাসের অণুগুলির গতিশক্তি বৃদ্ধি পায়। ফলে, ঐ গ্যাসের তাপমাত্রা বৃদ্ধি পায়। কিন্তু আয়তন স্থির থাকায়, গ্যাস কোনো বহিঃস্থ (external) কার্য করে না। এক্ষেত্রে প্রযুক্ত তাপ শুধু গ্যাসের তাপমাত্রা বৃদ্ধি অথবা অভ্যন্তরীণ শক্তিবৃদ্ধির কাজে নিযুক্ত হয়।

কিন্তু চাপ স্থির রেখে ঐ গ্যাসের সমতাপমাত্রা বৃদ্ধির জন্য তাপ প্রয়োগ করলে তাপমাত্রা বৃদ্ধির সঙ্গে সঙ্গে গ্যাসের আয়তনও বৃদ্ধি পায়। এক্ষেত্রে প্রযুক্ত তাপ দ্বিবিধ কার্য করে। প্রথমত গ্যাসের তাপমাত্রা বৃদ্ধি (অথবা অভ্যন্তরীণ শক্তি বৃদ্ধি) করে এবং দ্বিতীয়ত বাইরের চাপের বিরুদ্ধে গ্যাসের আয়তন বৃদ্ধি করে কিছু বাহ্য কার্য সম্পন্ন করে। দুই ক্ষেত্রে তাপমাত্রার পরিবর্তন সমান বলে, অভ্যন্তরীণ শক্তির পরিবর্তনও সমান কারণ অভ্যন্তরীণ শক্তির পরিবর্তন তাপমাত্রা পরিবর্তনের উপর নির্ভর করে। সুতরাং শুধু তাপমাত্রা বৃদ্ধির জন্য উভয় ক্ষেত্রে সমান তাপ লাগলেও আয়তন বৃদ্ধির জন্য যে অতিরিক্ত কার্য সম্পাদিত হয়, তার জন্য কিছু অতিরিক্ত তাপশক্তি লাগবে। সুতরাং স্থির আয়তনে 1 g গ্যাসের 1°C তাপমাত্রা বৃদ্ধির জন্য যে তাপ লাগবে স্থির চাপে ঐ গ্যাসের সমতাপমাত্রা বৃদ্ধির জন্য তা অপেক্ষা কিছু বেশি তাপ লাগবে। অর্থাৎ $C_p > C_v$ ।

1.10. গ্যাসের দুই আপেক্ষিক তাপের অন্তরফল (Difference between the two specific heats of a gas) :

ধরো, আমরা V আয়তন ও P চাপে এক গ্রাম-অণু আদর্শ গ্যাস (এক মোল) নিলাম। গ্যাসের তাপমাত্রা TK ; গ্যাসকে পিস্টনযুক্ত একটি চোঙে আবদ্ধ রাখা হল [চিত্র 1.3]। আয়তন স্থির রেখে ঐ গ্যাসের তাপমাত্রা dT বৃদ্ধি করতে যে তাপশক্তির প্রয়োজন হবে তা $= c_v dT$ [c_v = স্থির আয়তনে গ্যাসের মোলার আপেক্ষিক তাপ]।

(S.I. পদ্ধতিতে C_v বা C_p -এর একক $\text{J kg}^{-1}\text{K}^{-1}$ এবং মোলার আপেক্ষিক তাপের একক $\text{J mol}^{-1}\text{K}^{-1}$)।

যদি আয়তনের পরিবর্তে চাপ স্থির রাখা হয় এবং আয়তন বৃদ্ধি পায়, তাহলে, আয়তন বৃদ্ধিজনিত যে বহিঃস্থ কার্য করা হল তার সমতুল্য অতিরিক্ত তাপশক্তির প্রয়োজন হবে। এখন পিস্টনের ক্ষেত্রফল A এবং আয়তন বৃদ্ধির দরুন পিস্টন dx সরে গেলে যে-কার্য করা হয় তা $P \times A \times dx = P.dV$ [dV = আয়তনবৃদ্ধি]

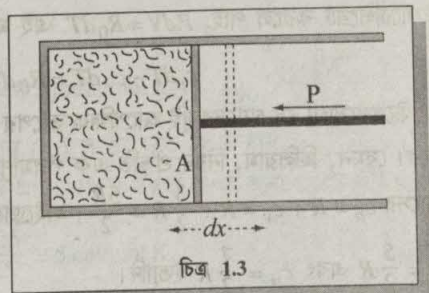
কাজেই, যে-অতিরিক্ত শক্তি লাগবে তা $= P.dV$

এখন, স্থির চাপে গ্যাসের মোলার আপেক্ষিক তাপ c_p হলে, 1 গ্রাম-অণু গ্যাসের তাপমাত্রা dT বৃদ্ধি করতে যে তাপশক্তির প্রয়োজন তা $= c_p dT$

অতএব, $c_p dT = c_v dT + P.dV$

অথবা, $(c_p - c_v)dT = P.dV \dots \dots (i)$

[দুই ক্ষেত্রে তাপমাত্রা বৃদ্ধি সমান বলে দুই ক্ষেত্রেই গ্যাসের অভ্যন্তরীণ শক্তিবৃদ্ধি সমান হবে।]



কিন্তু এক গ্রাম-অণু আদর্শ গ্যাসের বেলায় $P.V = R_0 T$

চাপ স্থির থাকায়, ডিফারেন্সিয়েট করলে পাই, $P.dV = R_0 dT$ [$R_0 =$ মোলার গ্যাস ধ্রুবক]

(i) নং সমীকরণে এই মান বসালে পাই, $(c_p - c_v)dT = R_0 dT$ অথবা, $(c_p - c_v) = R_0$ (ii)

(ii) নং সমীকরণে c_p, c_v এবং R_0 -কে $J \text{ mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$ এককে পরিমাপ করা হয়েছে। যদি তাদের তাপ এককে পরিমাপ করা হয় তাহলে $c_p - c_v = \frac{R_0}{J}$; এখানে $J = 4.2 \text{ joule/cal}$.

(c) এক গ্রাম-অণুর পরিবর্তে এক গ্রাম গ্যাস নিলে, উপরোক্ত ভাবে প্রমাণ করা যায়

$$C_p - C_v = R \dots \dots (v)$$

এখানে $R =$ এক গ্রাম গ্যাসের জন্য গ্যাস-ধ্রুবক।

[● বিকল্প প্রমাণ : তাপগতিবিদ্যার প্রথম সূত্রের সাহায্যে :

তাপগতিবিদ্যার প্রথম সূত্রানুসারে, $dQ = dU + dW \dots \dots (i)$

ধরো, আমরা V আয়তন ও P চাপে এক গ্রাম-অণু আদর্শ (এক মোল) গ্যাসে তাপ প্রয়োগ করে dT তাপমাত্রা বৃদ্ধি করলাম। যদি গ্যাসের আয়তন স্থির থাকে তবে প্রযুক্ত তাপ $dQ = c_v dT$ [$c_v =$ স্থির আয়তনে মোলার আপেক্ষিক তাপ]। গ্যাসের আয়তন স্থির থাকায়, বহিস্থ কার্য $dW = 0$; অতএব,

(i) নং সমীকরণ অনুযায়ী, $c_v dT = dU \dots \dots (ii)$

[$dU =$ তাপমাত্রা পরিবর্তনে অভ্যন্তরীণ শক্তির পরিবর্তন।]

এবার ঐ একই গ্যাসের চাপ স্থির রেখে তাপ প্রয়োগে একই তাপমাত্রা বৃদ্ধি dT করানো হল। এক্ষেত্রে প্রযুক্ত তাপ $dQ = c_p dT$ [$c_p =$ স্থির চাপে মোলার আপেক্ষিক তাপ]। এইবার গ্যাসের আয়তন বৃদ্ধি পাবে এবং কিছু বাহ্য কার্য সম্পন্ন হবে। P স্থির চাপের বিরুদ্ধে গ্যাসের আয়তন বৃদ্ধি dV হলে, বহিস্থ কার্য $dW = P.dV$;

(i) নং সমীকরণ অনুযায়ী, $c_p dT = dU + P.dV$

$$= c_v dT + P.dV \dots \dots (iii)$$

[উভয় ক্ষেত্রে গ্যাসের অভ্যন্তরীণ শক্তিবৃদ্ধি সমান কারণ তাপমাত্রা বৃদ্ধি সমান।]

(ii) এবং (iii) নং সমীকরণ হতে পাই,

$$c_p dT - c_v dT = P.dV \dots \dots (iv)$$

এখন, এক গ্রাম অণু গ্যাসের বেলায় $P.V = R_0 T$ [$R_0 =$ মোলার গ্যাস-ধ্রুবক]। চাপ স্থির থাকায়, ডিফারেন্সিয়েট করলে পাই, $P.dV = R_0 dT$ । এই মান (iv) নং সমীকরণ বসালে,

$$c_p dT - c_v dT = R_0 dT \text{ অথবা, } c_p - c_v = R_0$$

উল্লেখযোগ্য যে গ্যাসের দুই আপেক্ষিক তাপের মান প্রতি গ্যাস অণুতে পরমাণুর সংখ্যার উপর নির্ভর করে। যেমন, হিলিয়াম, নিয়ন প্রভৃতি এক পরমাণুক (mono-atomic) গ্যাসের $c_v = \frac{3}{2} R$; সুতরাং ঐ গ্যাসের $c_p = R + c_v = R + \frac{3}{2} R = \frac{5R}{2}$; হাইড্রোজেন, অক্সিজেন, ক্লোরিন প্রভৃতি দ্বি-পরমাণুক গ্যাসের $c_v = \frac{5}{2} R$ এবং $c_p = \frac{7}{2} R$ ইত্যাদি।

মনে রাখা দরকার যে (v) নং সমীকরণ কেবলমাত্র আদর্শ গ্যাসের বেলায় প্রযোজ্য হলেও, বাস্তব গ্যাসের বেলাতেও (মাক্সার চাপে) মোটামুটি প্রযোজ্য।

□ EXAMPLES □

1. 10^6 dyne/cm^2 স্থির চাপে একটি গ্যাসের আয়তন 30 litre থেকে 20 litre কমিয়ে আনা হল। কতখানি তাপ উদ্ধৃত হল নির্ণয় করো।

উঃ। কৃতকার্য $W = P \cdot dV = 10^6(30-20) \times 10^3 \text{ erg} = 10^{10} \text{ erg}$. (1 litre = 10^3 cm^3)

$$\text{আবার, } Q = \frac{W}{J} = \frac{10^{10}}{4.2 \times 10^7} = 0.24 \times 10^3 \text{ cal.}$$

[এস. আই. পদ্ধতি : $P = 10^6 \text{ dyne/cm}^2 = 10^5 \text{ newton/m}^2$; $dV = (30-20) \text{ litre} = 10 \times 10^{-3} \text{ m}^3$.

∴ কৃতকার্য $= P \cdot dV = 10^5 \times 10 \times 10^{-3} = 10^3 \text{ joule} =$ উদ্ধৃত তাপ।]

2. 0°C উষ্ণতায় এবং 76 cm পারদ চাপে 1 litre হাইড্রোজেনের ভর 0.0896g; স্থির চাপ ও স্থির আয়তনে প্রতি গ্রাম হাইড্রোজেনের আপেক্ষিক তাপ যথাক্রমে 3.409 এবং 2.411 cal হলে, J-এর মান নির্ণয় করো। $g = 980 \text{ cm/s}^2$ এবং পারদের ঘনত্ব $= 13.6 \text{ g/cm}^3$.

উঃ। তাপের এককে 1 g গ্যাসের ক্ষেত্রে $C_p - C_v = \frac{R}{J}$; [$R = 1 \text{ g}$ গ্যাসের ক্ষেত্রে গ্যাস-ধ্রুবক।]

এখন প্রতি গ্রাম গ্যাসের আয়তন $V = \frac{1000}{0.0896} \text{ cm}^3$; প্রমাণ চাপ $= 76 \text{ cm}$ পারদের চাপ $= 76 \times 13.6 \times 980 \text{ dyne/cm}^2$ প্রমাণ তাপমাত্রা $= 0^\circ\text{C} = 273 \text{ K}$; সুতরাং, এক গ্রাম গ্যাসের বেলায় গ্যাস-ধ্রুবক

$$R = \frac{PV}{T} = \frac{76 \times 13.6 \times 980 \times 1000}{0.0896 \times 273} \text{ erg/gK}$$

$$\begin{aligned} \therefore J &= \frac{R}{C_p - C_v} = \frac{(76 \times 13.6 \times 980 \times 1000) \text{ erg/gK}}{\{(0.0896 \times 273(3.409 - 2.411))\} \text{ cal/gK}} \\ &= 4.15 \times 10^7 \text{ erg/cal.} \end{aligned}$$

3. 290K তাপমাত্রায় এবং $9.48 \times 10^4 \text{ N/m}^2$ চাপে 1 মোল গ্যাস $2.541 \times 10^{-2} \text{ m}^3$ আয়তন অধিকার করে। ঐ একই ভরের গ্যাসকে স্থির আয়তনে 290K হতে 315K তাপমাত্রায় উত্তপ্ত করতে 125 cal তাপ লাগে। গ্যাসের দুই মোলার আপেক্ষিক তাপের অনুপাত $= 1.40$ হলে J-এর মান নির্ণয় করো।

উঃ। 1 মোল গ্যাসের ক্ষেত্রে আমরা পাই, $P \cdot V = R_0 T$

$$\therefore R_0 = \frac{P \cdot V}{T} = \frac{9.48 \times 10^4 \times 2.541 \times 10^{-2}}{290} = 8.3 \text{ joule/mol K}$$

আবার, স্থির আয়তনে মোলার আপেক্ষিক তাপের (c_v) সংজ্ঞা হতে লেখা যায়,

$Q = c_v \cdot dT = 1 \text{ মোল গ্যাসের স্থির আয়তনে } 1 \text{ K (অথবা } 1^\circ\text{C)} \text{ উষ্ণতা বৃদ্ধির জন্য প্রয়োজনীয় তাপ}$

$$\therefore c_v = \frac{\text{প্রযুক্ত তাপ (Q)}}{\text{উষ্ণতা বৃদ্ধি (dT)}} = \frac{125}{(315-290)} = \frac{125}{25} = 5 \text{ cal/mol K.}$$

প্রশ্নানুযায়ী, $c_p / c_v = 1.40$ অথবা, $c_p = 1.40 \times c_v = 1.40 \times 5 = 7.0 \text{ cal/mol K}$

$$\therefore c_p - c_v = (7.0 - 5.0) = 2 \text{ cal/mol K} = 2 \times J \text{ joule/mol K}$$

কার্যের এককে $c_p - c_v = R_0$ অথবা, $2 \times J = 8.3$

$$\therefore J = 4.15 \text{ joule/cal.}$$

[দ্রষ্টব্য : অঙ্কের এককগুলি লম্বক করো।]

4. 44.8 litre স্থির আয়তনের একটি চোঙে প্রমাণ চাপ ও তাপমাত্রায় হিলিয়াম গ্যাস ভর্তি করা হল। ঐ গ্যাসের উষ্ণতা 15°C বৃদ্ধি করতে কত তাপের প্রয়োজন হবে? $R_0 = 8.31 \text{ J mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$.

উঃ। অ্যাডোপাডো প্রকল্প হতে জানা যায় যে প্রমাণ চাপ (76 cm পারদ) ও তাপমাত্রায় (273 K) এক মোল আদর্শ গ্যাস 22.4 litre আয়তন অধিকার করে। এথেকে বোঝা যায় যে চোঙে 2 মোল হিলিয়াম গ্যাস আছে। হিলিয়াম এক পরমাণুক গ্যাস হওয়ায় স্থির আয়তনে তার মোলার আপেক্ষিক তাপ

$$c_v = \frac{3}{2} \cdot R_0$$

$$\therefore \text{নির্ণেয় তাপের পরিমাণ} = nc_v \cdot \theta = n \cdot \frac{3}{2} \cdot R_0 \theta = 2 \times \frac{3}{2} \times 8.31 \times 15 = 373.95 \text{ joule.}$$

5. 5 g ভরের গ্যাসকে 10°C থেকে 100°C -এ উষ্ণ করা হল। গ্যাসের আয়তন অপরিবর্তিত থাকলে (i) মোট কত তাপ সরবরাহ করা হল। (ii) গ্যাস কতটা বাহ্য কার্য সম্পন্ন করল (iii) অভ্যন্তরীণ শক্তির পরিবর্তন কত হল তা নির্ণয় করো। আয়তনের পরিবর্তে গ্যাসের চাপ অপরিবর্তিত থাকলে ঐ সকল রাশির মান নির্ণয় করো। গ্যাসের $C_v = 0.153 \text{ cal/g}^\circ\text{C}$ এবং $C_p = 0.217 \text{ cal/g}^\circ\text{C}$.

উঃ। (a) যখন গ্যাসের আয়তন অপরিবর্তিত আছে :

$$(i) \text{ সরবরাহ করা তাপের পরিমাণ } dQ = m \cdot C_v \cdot (\theta_2 - \theta_1) = 5 \times 0.153 (100 - 10) = 68.85 \text{ cal.}$$

(ii) যেহেতু গ্যাসের আয়তনের কোনো পরিবর্তন হয়নি, সেই হেতু কোনো বাহ্য কাজ করা হল না; কাজেই, $dW = 0$

$$(iii) \text{ তাপগতিবিদ্যার প্রথম সূত্র হতে পাই, } dQ = dW + dU; \text{ অভ্যন্তরীণ শক্তির পরিবর্তন } dU = dQ = 68.85 \text{ cal.} \quad [dW = 0]$$

(b) যখন গ্যাসের চাপ অপরিবর্তিত আছে :

$$(i) \text{ সরবরাহ করা তাপের পরিমাণ } dQ = m C_p (\theta_2 - \theta_1) \text{ cal} \\ = 5 \times 0.217 (100 - 10) = 97.65 \text{ cal.}$$

(ii) যেহেতু তাপমাত্রার পরিবর্তন দুই ক্ষেত্রেই সমান এবং অভ্যন্তরীণ শক্তির পরিবর্তন কেবল তাপমাত্রা পরিবর্তনের উপর নির্ভর করে, সেইহেতু অভ্যন্তরীণ শক্তির পরিবর্তন $dU = 68.85 \text{ cal.}$

$$(iii) \text{ এখন, } dQ = dW + dU \text{ অথবা } dW = dQ - dU = 97.65 - 68.85 = 28.8 \text{ cal.}$$

1.11.

গ্যাসের দুই আপেক্ষিক তাপের অনুপাতের গুরুত্ব

(Importance of the ratio of two specific heats of a gas) :

$$\text{কোনো গ্যাসের বেলায় } \gamma = \frac{\text{স্থির চাপে আপেক্ষিক তাপ } (C_p)}{\text{স্থির আয়তনে " " } (C_v)}$$

এই অনুপাত নানাকারণে খুবই গুরুত্বপূর্ণ। প্রথমত, γ -র মান থেকে ঐ গ্যাসের আণবিক বিন্যাস (molecular constitution) সম্বন্ধে আমরা ধারণা করতে পারি। যেমন, হিলিয়াম, নিয়ন প্রভৃতি এক

পরমাণুক (monatomic) গ্যাসের বেলায় γ -র মান 1.66 ; দ্বিপারমাণুক (diatomic) গ্যাসের বেলায় মান প্রায় 1.4 ; অবশ্য দ্বিপারমাণুক গ্যাস ক্লোরিনের বেলায় γ -র মান 1.4-এর চাইতে কিছু কম। ত্রিপারমাণুক (tri-atomic) গ্যাসের γ -র মান 1.3-এর কাছাকাছি। কিন্তু বহুপরমাণুক গ্যাসে γ -র মান 1.3 এবং 1.1-এর মধ্যে অবস্থিত। সুতরাং γ -র মান নির্ণয় করে গ্যাস এক পরমাণুক কিংবা দ্বিপারমাণুক তা জানা যায়। দ্বিতীয়ত, গ্যাস মাধ্যমে শব্দের গতিবেগ নির্ণয়ে γ -র মান প্রয়োজন হয়। প্রকৃতপক্ষে শব্দের গতিবেগ নির্ণয়ের যে তাত্ত্বিক সূত্র নিউটন প্রথম প্রতিষ্ঠা করেন তাতে কিছু ত্রুটি ধরা পড়ে। পরে, গ্যাসের আপেক্ষিক তাপদ্বয়ের অনুপাতের সাহায্যে ল্যাপলাস ঐ ত্রুটি সংশোধন করেন (শব্দবিজ্ঞান দ্রষ্টব্য)। তৃতীয়ত, গ্যাসের বুদ্ধতাপ প্রক্রিয়া (adiabatic) পর্যালোচনার জন্য γ -র মান প্রয়োজন।

1.12. সমোষ্ণ প্রক্রিয়া (Isothermal process) :

যে প্রক্রিয়ায় কোনো বস্তুর চাপ ও আয়তনের পরিবর্তন হয় কিন্তু তাপমাত্রা স্থির থাকে, সেই প্রক্রিয়াকে সমোষ্ণ প্রক্রিয়া এবং সেই পরিবর্তনকে সমোষ্ণ পরিবর্তন বলে।

কোনো গ্যাসকে যদি সহসা চাপ দিয়ে সংনমিত করা হয়, তবে কিছু তাপের উৎপত্তি হবে এবং গ্যাসের উষ্ণতা বৃদ্ধি পাবে। কিন্তু যদি ধীরে ধীরে গ্যাসকে সংনমিত করা হয় এবং উৎপন্ন তাপকে সঙ্গে সঙ্গে অপসারণের ব্যবস্থা করা হয়, তবে ঐ গ্যাসের তাপমাত্রা স্থির থাকবে কিন্তু আয়তনের পরিবর্তন হবে। তখন ঐ পরিবর্তনকে সমোষ্ণ পরিবর্তন বলা হবে।

অনুরূপভাবে, কোনো গ্যাসকে যদি সহসা প্রসারিত হতে দেওয়া হয়, তবে গ্যাস কিছু কার্য করবে এবং তাতে গ্যাস শীতল হবে। কিন্তু প্রসারণ যদি ধীরে ধীরে হয় এবং যে-হারে গ্যাস শীতল হল ঠিক সেই হারে বাইরে থেকে তাপ সরবরাহ করা হয় তবে ঐ গ্যাসের উষ্ণতা স্থির থাকবে কিন্তু আয়তনের পরিবর্তন হবে। তখন ঐ পরিবর্তনকেও সমোষ্ণ পরিবর্তন বলা হবে। প্রথমটিকে বলা হয় সমোষ্ণ আয়তন সংকোচন এবং দ্বিতীয়টি সমোষ্ণ আয়তন প্রসারণ। বলা বাহুল্য, দুটি প্রক্রিয়াই তাপগতীয় প্রক্রিয়া (thermodynamical processes)।

অতএব, সমোষ্ণ প্রক্রিয়ায় প্রয়োজন মতো তাপ নিষ্কাশন বা তাপ সরবরাহ করে বস্তুর তাপমাত্রা স্থির রাখা হয়। একথা স্পষ্ট বোঝা যায় যে, সমোষ্ণ প্রক্রিয়া সফল করার জন্য—অর্থাৎ প্রয়োজন মতো তাপের আদানপ্রদান ঘটাবার জন্য—যে পাত্রে গ্যাস রাখা হবে তা তাপের সুপরিবাহী হওয়া প্রয়োজন এবং ওই পাত্রকে যথেষ্ট তাপগ্রাহিতা-সম্পন্ন কোনো মাধ্যমের দ্বারা বেষ্টিত করে রাখা প্রয়োজন। তাছাড়া, সংনমন বা প্রসারণ খুব ধীরে ধীরে করা বাঞ্ছনীয়, কারণ তাহলে, উৎপন্ন তাপ নিষ্কাশন করার অথবা তাপ শোষণের জন্য প্রয়োজনীয় তাপ সরবরাহ করার সময় পাওয়া যাবে। এই কারণে, মন্থর পরিবর্তনের যে-কোনো প্রক্রিয়া সাধারণত সমোষ্ণ প্রক্রিয়া বলে গণ্য করা হয়।

উল্লেখযোগ্য যে, আদর্শ গ্যাসের সমোষ্ণ পরিবর্তনের ক্ষেত্রে চাপ ও আয়তন বয়েল সূত্র দ্বারা নিয়ন্ত্রিত হয়। অর্থাৎ $P.V. = \text{ধ্রুবক}$ ।

সমোষ্ণ প্রক্রিয়ায় তাপমাত্রার কোনো পরিবর্তন হয় না বলে, বস্তুর অভ্যন্তরীণ শক্তিরও কোনো পরিবর্তন হয় না—অর্থাৎ $dU = 0$ । কাজেই তাপগতিবিদ্যার প্রথম সূত্র হতে পাই $dQ = dW$; এর অর্থ এই যে সমোষ্ণ প্রক্রিয়ায় যে তাপ বস্তুতে সরবরাহ করা হয় তার সবটাই বাহ্য কার্য সম্পন্ন করতে ব্যয়িত হয়।

1.13. বুদ্ধতাপ প্রক্রিয়া (Adiabatic process) :

যে-প্রক্রিয়ায় কোনো বস্তুর চাপ ও আয়তনের পরিবর্তন হয় কিন্তু কোনো তাপ বাইরে থেকে বস্তুতে প্রবেশ করতে পারে না বা বস্তু হতে তাপ বেরিয়ে যেতে পারে না, সেই প্রক্রিয়াকে বুদ্ধতাপ প্রক্রিয়া এবং সেই পরিবর্তনকে বুদ্ধতাপ পরিবর্তন বলে।

চাপ প্রয়োগে কোনো গ্যাসকে সংনমিত করলে যে তাপের উদ্ভব হয় তা অপসারণ না করলে গ্যাসের উষ্ণতা বৃদ্ধি পাবে। আবার গ্যাসকে প্রসারিত হতে দিলে এবং বাইরে থেকে তাপ সরবরাহ না করলে, গ্যাস শীতল হবে—অর্থাৎ, তার উষ্ণতা হ্রাস পাবে। প্রথম প্রক্রিয়াকে বলা হবে, **বুদ্ধতাপ সংনমন বা সংকোচন** এবং দ্বিতীয়টিকে **বুদ্ধতাপ প্রসারণ**। দুটি প্রক্রিয়াই তাপগতীয় প্রক্রিয়া।

সুতরাং বুদ্ধতাপ প্রক্রিয়ায় তাপমাত্রা স্থির থাকে না। বুদ্ধতাপ প্রক্রিয়া সফল করার জন্য—অর্থাৎ তাপের আদানপ্রদান বন্ধ করতে হলে—যে পাত্রে গ্যাস রাখা হবে তা তাপের কুপরিবাহী হতে হবে এবং সংনমন ও প্রসারণ খুব দ্রুত সম্পন্ন করতে হবে। কারণ তাহলে, উৎপন্ন তাপ বার হয়ে যাবার অথবা শোষণের জন্য প্রয়োজনীয় তাপ বাইরে থেকে সরবরাহ করার সময় পাওয়া যাবে না। তাই, দ্রুত পরিবর্তনের যে-কোনো প্রক্রিয়াকে সাধারণত বুদ্ধতাপ প্রক্রিয়া বলে গণ্য করা হয়।

বুদ্ধতাপ পরিবর্তনের বেলায়, কোনো আদর্শ গ্যাসের চাপ ও আয়তন বয়েল সূত্র দ্বারা নিয়ন্ত্রিত হয় না—নিম্নলিখিত সম্পর্ক দ্বারা নিয়ন্ত্রিত হয় : $P.V^\gamma = \text{ধ্রুবক}$; এখানে $\gamma = \text{স্থির চাপে গ্যাসের আঃ তাঃ এবং স্থির আয়তনে আঃ তাপের অনুপাত}$ ।

● বুদ্ধতাপ প্রক্রিয়ায় গ্যাস শীতল বা উষ্ণ হয় কেন ?

তাপগতিবিদ্যার প্রথম সূত্র হতে আমরা বুঝতে পারি কেন বুদ্ধতাপ সম্প্রসারণে গ্যাস শীতল হয় এবং বুদ্ধতাপ সংকোচনে গ্যাস উষ্ণ হয়।

বুদ্ধতাপ প্রক্রিয়ায় বাইরে থেকে কোনো তাপ সরবরাহ করা হয় না বলে $dQ = 0$; সম্প্রসারণের ক্ষেত্রে গ্যাস নিজে বাহ্য কার্য করে বলে কৃতকার্য dW ধনাত্মক ধরা হয়। এই অবস্থায় প্রথম সূত্র হতে পাই $dW = -dU$; অর্থাৎ গ্যাসের অভ্যন্তরীণ শক্তি হ্রাস পায়। গ্যাসের তাপমাত্রা অভ্যন্তরীণ শক্তির পরিবর্তনের সমানুপাতিক। তাই বুদ্ধতাপ সম্প্রসারণে গ্যাসের তাপমাত্রা হ্রাস পাবে অথবা গ্যাস শীতল হবে। এই কারণে সাইকেল বা মোটরগাড়ির টায়ার ফেটে গেলে যে বায়ু নির্গত হয় তা পারিপার্শ্বিক বায়ুর তুলনায় ঠান্ডা মনে হয়।

আবার, বুদ্ধতাপ সংকোচনে, গ্যাসের উপর কার্য করা হয় বলে কৃতকার্য dW ঋণাত্মক ধরা হয়। কাজেই, প্রথম সূত্র প্রয়োগ করে পাই $0 = dU - dW$ অথবা, $dW = dU$; অর্থাৎ গ্যাসের অভ্যন্তরীণ শক্তি তথা গ্যাসের তাপমাত্রা বৃদ্ধি পায়। এই কারণে ফুটবল ব্লাডার অথবা সাইকেলের টায়ার বায়ুভর্তি করার সময় বায়ু উষ্ণ হয়ে পড়ে।

বুদ্ধতাপ পরিবর্তনে কোন আদর্শ গ্যাসের তাপমাত্রা-আয়তন এবং তাপমাত্রা-চাপ সম্পর্ক নিম্নরূপ :

$$(i) T_1 V_1^{\gamma-1} = T_2 V_2^{\gamma-1} = \text{ধ্রুবক}$$

$$(ii) P_1^{\gamma-1} T_1^{-\gamma} = P_2^{\gamma-1} T_2^{-\gamma} = \text{ধ্রুবক}$$

□ EXAMPLE □

0°C তাপমাত্রায় ও প্রমাণ বায়ুমণ্ডলীয় চাপে কোন গ্যাসের আয়তন বুদ্ধতাপ প্রক্রিয়ায় সংকুচিত করে অর্ধেক করলে গ্যাসের চাপ ও তাপমাত্রা মান কি হবে ? $\gamma = 1.67$

উঃ। (i) বুদ্ধতাপ প্রক্রিয়ায় গ্যাসের আয়তন ও চাপের সম্পর্ক : $P.V^\gamma = \text{ধ্রুবক}$

$$\text{অর্থাৎ } P_1 V_1^\gamma = P_2 V_2^\gamma \text{ অথবা, } \frac{P_2}{P_1} = \left(\frac{V_1}{V_2} \right)^\gamma$$

$$\text{এখানে, } P_1 = 76 \text{ cm পারদ ; } \frac{V_1}{V_2} = 2 ; \text{ অতএব, } \frac{P_2}{76} = (2)^{1.67}$$

$$\text{লগারিদম নিলে, } \log P_2 - \log 76 = 1.67 \log 2$$

অথবা, $\log P_2 - 1.8808 = 1.67 \times 0.3010$ অথবা, $\log P_2 = 2.3855$

$$\therefore P_2 = 241.7 \text{ cm পারদ}$$

(ii) বুদ্ধতাপ প্রক্রিয়ায় গ্যাসের আয়তন ও তাপমাত্রার সম্পর্ক : $TV^{\gamma-1} = \text{ধ্রুবক}$

অর্থাৎ, $T_1 V_1^{\gamma-1} = T_2 V_2^{\gamma-1}$ অথবা, $\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{V_1}{V_2}\right)^{\gamma-1}$

এখানে $T_1 = 0^\circ\text{C} = 273\text{K}$; $\frac{V_1}{V_2} = 2$; অতএব, $\frac{T_2}{273} = (2)^{1.67-1} = (2)^{0.67}$

লগারিদম নিলে, $\log T_2 - \log 273 = 0.67 \log 2$

অথবা, $\log T_2 - 2.4362 = 0.67 \times 0.3010$

$\log T_2 = 2.6362$

$\therefore T_2 = 432.7\text{K}$

সেলসিয়াস স্কেলে $t_2 = 432.7 - 273 = 159.7^\circ\text{C}$

1.14.

প্রত্যাবর্তক ও অপ্রত্যাবর্তক প্রক্রিয়া (Reversible and irreversible process) :

ধরো, কোনো একটি প্রক্রিয়ায় কোনো কার্যরত বস্তু (working substance) বিশেষ এক পরিবেশে A অবস্থা হতে পরিবর্তিত হয়ে B অবস্থায় গেল এবং ঐ সময় বস্তু কিছু তাপ শোষণ করল ও কিছু বাহ্য কার্য সম্পাদন করল। এই প্রক্রিয়াকে সম্মুখগামী প্রক্রিয়া (direct operation) বলে গণ্য করলে, বস্তু যখন একই পরিবেশে পশ্চাৎবর্তী প্রক্রিয়ায় (reverse operation) B অবস্থা হতে A অবস্থায় ফিরে যাবে এবং একই পরিমাণ তাপ উদ্‌গীরণ (evolve) করবে ও বস্তুর ওপর একই পরিমাণ বাহ্য কার্য সম্পাদিত হবে, তখন সমগ্র প্রক্রিয়াকে প্রত্যাবর্তক প্রক্রিয়া বলা হবে।

সুতরাং তাপগতিবিদ্যার দৃষ্টিকোণ হতে আমরা সেই প্রক্রিয়াকে প্রত্যাবর্তক প্রক্রিয়া বলব যা বিপরীতমুখী হয়ে প্রত্যাবর্তন করতে পারে এবং সম্মুখগামী ও প্রত্যাবর্তনমুখী প্রক্রিয়ার প্রতি স্তরে তাপ ও কার্যের ফলাফল সমান ও বিপরীত হয়।

কোনো প্রকৃত পরিবর্তনই সম্পূর্ণরূপে প্রত্যাবর্তক নয় কিন্তু অনেকগুলি প্রক্রিয়া ধীরে ধীরে সম্পাদন করলে প্রত্যাবর্তক হতে পারে। যেমন, পিস্টনসহ কোনো বেষ্টিতর মধ্যে কিছু গ্যাস নিয়ে যদি পিস্টনের দ্বারা গ্যাসকে ধীরে ধীরে সমোচ্চ ও বুদ্ধতাপ প্রক্রিয়ায় সংনমিত করা যায় তবে গ্যাসের উপর পিস্টন যে কার্য করবে তা গ্যাস কর্তৃক পিস্টনের উপর কৃতকার্যের সমান হবে যখন গ্যাস ধীরে ধীরে প্রসারিত হয়ে পূর্বের অবস্থায় ফিরে আসবে। সুতরাং এই প্রক্রিয়াকে প্রত্যাবর্তক বলে গণ্য করা যাবে।

বরফ নির্দিষ্ট পরিমাণ তাপ শোষণ করে জল হয়। আবার, ঐ জল হতে সমপরিমাণ তাপ নিষ্কাশন করলে, পুনরায় বরফ পাওয়া যায়। সুতরাং এই প্রক্রিয়া প্রত্যাবর্তক।

একই তাপমাত্রায় রাখা দুই বা ততোধিক বস্তুর ভিতর তাপের আদানপ্রদান হলে তা প্রত্যাবর্তক; কিন্তু ভিন্ন তাপমাত্রায় রক্ষিত বস্তুর মধ্যে পরিবহন বা বিকিরণ পদ্ধতিতে তাপের স্থানান্তর প্রক্রিয়া প্রত্যাবর্তক হবে না—এটা একমুখী।

যে প্রক্রিয়া বিপরীতমুখী হয়ে প্রত্যাবর্তন করতে পারে না, তাকে অপ্রত্যাবর্তক প্রক্রিয়া বলা হয়। বিস্ফোরণ ইত্যাদির ন্যায় সহসা সংঘটিত পরিবর্তন সর্বদা অপ্রত্যাবর্তক।

বায়ুমণ্ডলীয় চাপে কোনো ফ্লাস্ক-কে বায়ুপূর্ণ করে অপর একটি বায়ুশূন্য ফ্লাস্কের সঙ্গে সংযোগ স্থাপন করলে প্রথম ফ্লাস্ক হতে বায়ু দ্বিতীয় ফ্লাস্কে প্রবেশ করবে যতক্ষণ না উভয়ের চাপ সমান হয়। এক্ষেত্রে

গ্যাসের সম্প্রসারণ হল বটে কিন্তু গ্যাস কোনো বাহ্য কার্য সম্পন্ন করল না। এই প্রক্রিয়া প্রত্যাবর্তক হলে, বাইরে থেকে কোনোরূপ কার্য না করেই গ্যাসকে পুনরায় আগের অবস্থায় ফিরিয়ে আনা সম্ভব হত। কিন্তু কার্যক্ষেত্রে দেখা যায় যে গ্যাসকে পুনরায় প্রারম্ভিক অবস্থায় ফিরিয়ে আনতে গেলে বাইরে থেকে কিছু কার্য করা প্রয়োজন। সুতরাং এই প্রক্রিয়া প্রত্যাবর্তক নয়—অপ্রত্যাবর্তক।

এইরূপ ঘর্ষণে তাপের উৎপত্তি, তড়িৎপ্রবাহের দরুন তড়িৎরোধে তাপের উদ্ভব এই সকল প্রক্রিয়াই অপ্রত্যাবর্তক। পেলিট্রার ক্রিয়া প্রত্যাবর্তক কিন্তু জুল ক্রিয়া প্রত্যাবর্তক নয়।

এই আলোচনা হতে আমরা বলতে পারি যে, কোনো প্রক্রিয়া প্রত্যাবর্তক হতে গেলে নিম্নলিখিত শর্তগুলি পূরণ করতে হবে :

(i) কার্যরত বস্তু প্রত্যাবর্তক প্রক্রিয়ার ভিতর দিয়ে গেলে পরিবহন, পরিচলন, বিকিরণ অথবা ঘর্ষণজনিত পদ্ধতিতে তাপ নষ্ট করতে পারবে না। কোনো তাপ চৌম্বক অথবা তড়িৎশক্তিতেও রূপান্তরিত হতে পারবে না অর্থাৎ প্রক্রিয়া প্রত্যাবর্তক হতে গেলে ঘর্ষণ, তড়িৎরোধ বা হিস্টারিসিস প্রভৃতি অপচয়মূলক (dissipative) ফলাফলগুলি সম্পূর্ণরূপে বন্ধ করতে হবে।

(ii) কার্যরত বস্তুর চাপ ও আয়তনের পরিবর্তন খুব ধীরে ধীরে করতে হবে যাতে বস্তু তাপ গ্রহণ করলে তার তাপমাত্রা উত্তপ্ত বস্তুর (যা থেকে তাপ গ্রহণ করবে) তাপমাত্রা হতে খুব সামান্য পরিমাণে পৃথক হবে, আবার যখন কার্যরত বস্তু তাপ ত্যাগ করে তখন তার তাপমাত্রা শীতল বস্তুর (যাকে তাপ ত্যাগ করা হবে) তাপমাত্রা হতে খুব সামান্য পরিমাণে পৃথক হবে। অর্থাৎ সমস্ত প্রত্যাবর্তক প্রক্রিয়া খুব মন্থর হতে হবে।

এই সকল শর্ত বাস্তবক্ষেত্রে ঠিক ঠিক মেনে চলা সম্ভব নয় কারণ কোনো যান্ত্রিক প্রক্রিয়াই ঘর্ষণবিহীন করা যায় না বা এমন কোনো অন্তরক (insulator) পদার্থ বা পরিবাহী পদার্থ (conductor) নেই যাদের আদর্শ অন্তরক বা আদর্শ পরিবাহী বলা যেতে পারে। কাজেই যথার্থ প্রত্যাবর্তক প্রক্রিয়া একটি আদর্শ কল্পনা—অপ্রত্যাবর্তক প্রক্রিয়াই বাস্তবসম্মত। তবে, উপরের শর্তগুলি প্রায় পূরণ করে আমরা কার্যক্ষেত্রে এরূপ প্রক্রিয়া উদ্ভাবন করতে পারি যাকে মোটামুটি প্রত্যাবর্তক বলা যেতে পারে।

*1.15.

তাপগতিবিদ্যার দ্বিতীয় সূত্র (Second law of thermodynamics) :

তাপগতিবিদ্যার দ্বিতীয় সূত্র ভালোভাবে উপলব্ধি করার জন্য নিম্নবর্ণিত দুটি প্রক্রিয়া বিবেচনা করা যাক।

(1) মনে করো 100°C উষ্ণতার একটি বস্তুকে 0°C উষ্ণতার অপর একটি সদৃশ (similar) বস্তুর সংস্পর্শে রাখা হল। আমরা জানি, তাপ উষ্ণ বস্তু হতে শীতল বস্তুতে প্রবাহিত হবে এবং কিছু সময় পরে উভয়ের তাপমাত্রা হবে 50°C । এখন, প্রশ্ন এই যে বিপরীত প্রক্রিয়া কি সম্ভব? অর্থাৎ উভয়ের তাপমাত্রা 50°C এরূপ দুটি সদৃশ বস্তুকে সংস্পর্শে রাখলে তাপ কি এক বস্তু হতে অপর বস্তুতে প্রবাহিত হবে যাতে কিছুক্ষণ পরে এক বস্তু শীতল হয়ে 0°C তাপমাত্রা পেল এবং অপর বস্তু উত্তপ্ত হয়ে 100°C তাপমাত্রা পেল?

(2) সুদৃঢ় দেওয়ালযুক্ত একটি পাত্র বিবেচনা কর যাকে ভালভ সহ একটি পার্টিশান দুটি প্রকোষ্ঠে ভাগ করেছে। ভালভ বন্ধ রেখে এক প্রকোষ্ঠে গ্যাস ভর্তি করা হল এবং অন্য প্রকোষ্ঠ শূন্য রাখা হল। এইবার ভালভ খুলে দিলে শূন্য প্রকোষ্ঠে গ্যাস প্রবেশ করতে থাকবে এবং কিছুক্ষণ পরে দুই প্রকোষ্ঠই সমভাবে গ্যাসপূর্ণ হবে। এক্ষেত্রেও কি বিপরীত প্রক্রিয়া সম্ভব? অর্থাৎ দুই প্রকোষ্ঠে সমভাবে গ্যাস রেখে যদি ভালভ খোলা যায় তবে কি গ্যাস এক প্রকোষ্ঠ হতে অন্য প্রকোষ্ঠে ক্রমাগত প্রবেশ করে এক প্রকোষ্ঠ সম্পূর্ণ শূন্য এবং অন্য প্রকোষ্ঠ গ্যাসপূর্ণ করবে?

বলা বাহুল্য, উপরোক্ত দুই ক্ষেত্রে বিপরীত প্রক্রিয়া সম্ভব নয় যদিও তাপগতিবিদ্যার প্রথম সূত্র উপরোক্ত দুটি বিপরীত প্রক্রিয়াতেই সমভাবে প্রযোজ্য এবং দুটি প্রক্রিয়াতেই শক্তির সংরক্ষণ সূত্র অলঙ্ঘিত থাকে। দেখা যাচ্ছে যে তাপগতিবিদ্যার প্রথম সূত্র ছাড়াও প্রকৃতিতে আরও একটি সূত্র আছে যা প্রথম সূত্রের

অনুমোদন থাকা সত্ত্বেও কোনো একটি বিশেষ প্রক্রিয়া আদৌ ঘটবে কি ঘটবে না, তা ঠিক করে দেয়। প্রকৃতির এই সূত্রই তাপগতিবিদ্যার দ্বিতীয় সূত্র।

বিভিন্ন বিজ্ঞানী তাপগতিবিদ্যার দ্বিতীয় সূত্রের প্রস্তাবনা বিভিন্ন রকমে করেছেন। কিন্তু প্রত্যেকটি প্রস্তাবনার ভিতরই একটি মূলগত একা আছে। উনবিংশ শতাব্দীর মধ্যভাগে ক্রুসিয়াস দ্বিতীয় সূত্রের যে প্রস্তাবনা দেন তা নিম্নরূপ :

বাইরের কোনো শক্তি (agency) কার্য না করলে শীতল বস্তু থেকে উষ্ণ বস্তুতে তাপ নিজ হতে প্রবাহিত হতে পারে না।

স্পষ্টই বোঝা যায় যে উক্ত প্রস্তাবনা একটি সাধারণ প্রাকৃতিক নিয়মেরই পুনরাবৃত্তি। এই প্রাকৃতিক নিয়মের প্রকাশস্বরূপ আমরা দেখতে পাই যে, বাইরের কোনো শক্তির সহায়তা ভিন্ন কোনো জড় বস্তু নীচতল হতে উঁচুতলে যেতে পারে না বা তাড়িৎপ্রবাহ নিম্নবিভব বিন্দু হতে উচ্চ বিভব বিন্দুতে যেতে পারে না; জড় বস্তুকে নীচ তল হতে উঁচু তলে নিতে গেলে যন্ত্রের প্রয়োজন; তেমনি তাড়িৎপ্রবাহকে নিম্নবিভব হতে উচ্চ বিভব বিন্দুতে চালনা করতে হলে তাড়িৎযন্ত্রের প্রয়োজন। এই ঘটনা হতে সাধারণভাবে দ্বিতীয় সূত্রকে নিম্নলিখিতরূপে প্রকাশ করা যেতে পারে :

বাইরের সাহায্য ব্যতিরেকে কোনো স্বয়ংক্রিয় (self-acting) যন্ত্রের পক্ষে নিম্ন তাপমাত্রার বস্তু হতে উচ্চ তাপমাত্রার বস্তুতে তাপের সরবরাহ সম্ভব না।

দ্বিতীয় সূত্রের সরাসরি কোনো প্রমাণ উপস্থিত করা সম্ভব নয়; কিন্তু এর সত্যতার সমর্থনে এই কথা বলা যায় যে এ পর্যন্ত এরূপ কোনো যন্ত্র উদ্ভাবিত হয়নি যা এই সূত্রের বিরুদ্ধাচরণ করেছে।

লক্ষ কর যে তাপগতিবিদ্যার প্রথম সূত্র হতে জানতে পারি যে কার্য তাপে রূপান্তরিত হয় অথবা তাপ কার্যে রূপান্তরিত হয়। কিন্তু কীভাবে এই রূপান্তর ঘটানো যায় তা প্রথম সূত্র হতে জানা যায় না। তাপগতিবিদ্যার দ্বিতীয় সূত্র এই রূপান্তরের গতিমুখ (direction) এবং সীমা (limit) নির্ধারণ করে। তাপ ইঞ্জিনে তাপ কার্যে রূপান্তরিত হয় এবং রেফ্রিজারেটরে কোনো স্থানের উষ্ণতা পারিপার্শ্বিক উষ্ণতার নীচে আনা হয়। এই দুটি যন্ত্রই দ্বিতীয় সূত্র অনুযায়ী কাজ করে।

1.16. তাপগতিবিদ্যার দুই সূত্রের পার্থক্য (Distinction between two laws of thermodynamics) :

তাপগতিবিদ্যার দুই সূত্রের মূল পার্থক্য বুঝে রাখা প্রয়োজন। প্রথম সূত্রের প্রস্তাবনা এই যে তাপ ও যান্ত্রিক কার্য উভয়েই শক্তির বিভিন্নরূপ এবং এক রূপ থেকে অন্যরূপে পরিবর্তন সম্ভব। এছাড়া, রূপান্তরের সময়ে একে অন্যের সমতুল্য এটাও আমরা প্রথম সূত্র থেকে জানতে পারি। কিন্তু তাপের উৎপত্তি কোথায়—কোনো উত্তপ্ত বস্তু কি শীতল বস্তু অথবা তাপকে কার্যে রূপান্তরিত করার শর্ত কি তা এই সূত্র থেকে কিছু জানা যায় না। এইসব প্রশ্নের উত্তর আমরা তাপগতিবিদ্যার দ্বিতীয় সূত্র থেকে পাই। এই সূত্র বলে যে তাপ যখন কার্যে রূপান্তরিত হয় তখন তার কিছু অংশ কার্যে রূপান্তরিত হয়; সকল তাপই রূপান্তরিত হয় না এবং ঐ রূপান্তরের জন্য সর্বদা একটি উত্তপ্ত এবং একটি শীতল বস্তুর যুগপৎ উপস্থিতি প্রয়োজন। উত্তপ্ত বস্তু থেকে শীতল বস্তুতে তাপের হস্তান্তর হলে কিছু পরিমাণ তাপ কার্যে রূপান্তরিত হবে।

□ EXAMPLES □

1. দুই মুখ বন্ধ একটি কাচনলে 25 g সিসা-গুলি রাখা আছে এবং নলের বাকি অংশ 1 litre জল দ্বারা ভর্তি। নলটিকে খাড়াভাবে ধরে উল্টানো হলে সিসা-গুলি নলের 1 m দৈর্ঘ্য বরাবর পড়ল। জলের তাপমাত্রা 1°C বৃদ্ধি করতে নলটিকে ঐরূপ কয়বার উল্টাতে হবে ?

[Jt. Entrance 1981]

উঃ। ধরো, নির্ণেয় পতনের সংখ্যা = n

$$n \text{ বার পতনের মোট কৃতকার্য} = n.mgh = n \times 25 \times 980 \times 100 \text{ erg} = n \times 245 \times 10^4 \text{ erg.}$$

$$\text{অতএব উৎপন্ন তাপ} = \frac{W}{J} = \frac{n \times 245 \times 10^4}{4.2 \times 10^7} \text{ cal.} = \frac{7n}{120} \text{ cal.}$$

জল এই তাপ শোষণ করবে; 1 litre জলের ভর = 1000 g ; জলের তাপমাত্রা 1°C বৃদ্ধি পেলে, শোষিত তাপ = $1000 \times 1 \text{ cal.}$

$$\therefore \frac{7n}{120} = 1000 \text{ অথবা, } n = 17142 \text{ (প্রায়)।}$$

২. একটি জলপ্রপাতের জল 50 metre উচ্চতা হতে নীচে পড়ছে। তার শক্তির 75% তাপে পরিণত হয়ে জলে শোষিত হলে, জলের উষ্ণতা কত বৃদ্ধি পাবে? $g = 9.8 \text{ metre/s}^2$.

উঃ। জল কর্তৃক কৃতকার্য $W = mgh = m \times 9.8 \times 50 \text{ N-m}$ [$m \text{ kg}$ = যে-কোনো মুহূর্তে পড়ন্ত জলের ভর]।

$$\text{যে শক্তি তাপে পরিণত হল তা} = \frac{75}{100} \times W = \frac{75}{100} \times m \times 9.8 \times 50 \text{ N-m. অথবা জুল।}$$

$$\text{উৎপন্ন তাপ} = m \times s \times \theta = m \times 4200 \times \theta \text{ joule}$$

$$[\text{এস্. আই. পদ্ধতিতে জলের আঃ তাঃ} = 4200 \text{ J/kg K.}]$$

$$\therefore \frac{75}{100} \times m \times 9.8 \times 50 = m \times 4200 \times \theta \quad \therefore \theta = 0.0875 \text{ K} = 0.0875^\circ\text{C.}$$

৩. 20°C উষ্ণতার একটি সিসার বুলেট কত বেগে একটি লক্ষ্যে আঘাত করলে বুলেটি ঠিক গলে যাবে? আঘাতজনিত সমস্ত তাপ বুলেটে আবদ্ধ থাকে ধরে নিতে পার। সিসার আপেক্ষিক তাপ = $0.126 \times 10^3 \text{ J/kg K}$; সিসার গলনাঙ্ক = 320°C এবং সিসা গলনের লীনতাপ = $22.5 \times 10^3 \text{ J/kg}$.

উঃ। ধরো, বুলেটের ভর = $m \text{ kg}$; উৎপন্ন তাপ = $m \times 0.126 \times 10^3 \times (320 - 20) + m \times 22.5 \times 10^3 = 60.3 \times 10^3 \times m \text{ joule.}$ [লক্ষ্য করো $(320 - 20)^\circ\text{C} = (320 - 20)\text{K}$]

$$\text{কৃতকার্য } W = \text{বুলেটের গতিশক্তি} = \frac{1}{2}mv^2 \text{ জুল (} v = \text{বুলেটের m/s এককে গতিবেগ)}$$

$$\therefore \frac{1}{2}mv^2 = 60.3 \times 10^3 \times m \text{ অথবা, } v = \sqrt{2 \times 60.3 \times 10^3} \text{ m/s} = 347.3 \text{ m/s.}$$

৪. 700 metre/s বেগে 27°C উষ্ণ একটি সিসার বুলেট একটি ইস্পাত প্লেটকে আঘাত করল। যে তাপ উৎপন্ন হল, তাতে বুলেট ঠিক গলে গেল। উৎপন্ন তাপ বুলেট এবং প্লেটে বণ্টিত হলে, ইস্পাত প্লেট উৎপন্ন তাপের শতকরা কত ভাগ শোষণ করল নির্ণয় করো। সিসার আঃ তাপ = 0.03 ; সিসার গলনাঙ্ক = 327°C এবং লীনতাপ = 5.4 cal/g.

[Jt. Entrance 1984]

$$\text{উঃ। মোট উৎপন্ন তাপ } H = \frac{1}{2} \frac{mv^2}{J} \text{ cal} = \frac{1}{2} \times m \times \frac{(700 \times 100)^2}{4.2 \times 10^7} = \frac{700m}{12} \text{ cal. } [m = \text{গ্রাম}]$$

এককে বুলেটের ভর]

$$\text{বুলেট কর্তৃক শোষিত তাপ } H = m \times 0.03 \times (327 - 27) + m \times 5.4 = 14.4 m \text{ cal.}$$

$$\text{বুলেট কর্তৃক শোষিত তাপের শতকরা অংশ} = \frac{H_1}{H} \times 100 = \frac{14.4m \times 12}{700m} \times 100 = 24.7\%$$

$$\therefore \text{প্রেট কর্তৃক শোষিত তাপের শতকরা অংশ} = (100 - 24.7) = 75.3\%$$

5. পৃথিবীর আবহাওয়ার ভিতর দিয়ে যাবার ফলে, 42 kg ভরের একটি জ্যোতিষ্কের গতিবেগ 20 km/min হতে হাস পেয়ে 5 km/min হল। এই গতিবেগ পরিবর্তনের দরুন কত তাপ উৎপন্ন হল তা ক্যালরিতে নির্ণয় করো।

$$\text{উঃ। জ্যোতিষ্কের প্রারম্ভিক গতিশক্তি} = \frac{1}{2} mu^2 = \frac{1}{2} \times 42 \times \left(\frac{20 \times 10^3}{60} \right)^2 \text{ joule.}$$

$$\text{জ্যোতিষ্কের পরবর্তী গতিশক্তি} = \frac{1}{2} mv^2 = \frac{1}{2} \times 42 \times \left(\frac{5 \times 10^3}{60} \right)^2 \text{ joule.}$$

$$\therefore \text{গতিশক্তির পরিবর্তন} = \frac{1}{2} \times 42 \times \frac{10^3 \times 10^3}{60 \times 60} (400 - 25) = \frac{42 \times 10^6 \times 375}{2 \times 60 \times 60} \text{ joule.}$$

$$= 218.75 \times 10^4 \text{ joule.}$$

$$\text{উৎপন্ন তাপ } Q = 218.75 \times 10^4 \text{ J}$$

$$\text{ক্যালরিতে উৎপন্ন তাপ} = \frac{218.75 \times 10^4}{4.2} = 52 \times 10^4 \text{ cal.}$$

6. কত উচ্চতা হতে একখণ্ড বরফ ফেলে এঁ বরফখণ্ড সম্পূর্ণরূপে গলে যাবে। পতনের ফলে 20% শক্তি বরফে আবদ্ধ আছে ধরে নিতে পারো। বরফ গলনের লীনতাপ = 80 cal/g. [Jt. Entrance 2001]

$$\text{উঃ। ধরো, বরফ টুকরোর ভর} = m \text{ g ও নির্ণেয় উচ্চতা} = h \text{ cm.}$$

$$\text{এক্ষেত্রে পতনের ফলে বরফ টুকরোর দ্বারা কৃতকার্য} = mgh \text{ erg.}$$

$$\text{এর 20\% বরফে আবদ্ধ বলে এই শক্তির পরিমাণ} = \frac{20}{100} mgh = \frac{1}{5} mgh \text{ erg.}$$

$$\text{আমরা জানি, } W = J.H \therefore \frac{1}{5} mgh = JH \text{ বা, } H = \frac{mgh}{5J}$$

$$\text{কিন্তু বরফ টুকরোর গলার জন্য প্রয়োজনীয় তাপ} = mL = 80 m \text{ cal.}$$

$$\therefore \frac{mgh}{5J} = 80 m \therefore h = \frac{80 \times 5 \times J}{g} = \frac{80 \times 5 \times 4.2 \times 10^7}{980} \text{ cm} = 171.4 \text{ km (প্রায়).}$$

এই পরিচ্ছেদের বিষয়বস্তু সম্পর্কে কয়েকটি প্রশ্ন (Some typical problems of this chapter)

1. জলপ্রপাতের উপরের জল এবং নীচের জলের মধ্যে উষ্ণতার পার্থক্য হয় কেন?
- জলপ্রপাতের উচ্চতা সাধারণত খুব বেশি। অত উচ্চে থাকায় বিরাট জলরাশির মোট স্থিতিশক্তি খুব উচ্চ হয়। যখন জলরাশি উপর হতে নীচে পড়ে তখন এই বিরাট স্থিতিশক্তির বেশ কিছু অংশ রূপান্তরিত হয় তাপশক্তিতে। এই তাপশক্তি জলে আবদ্ধ থাকার ফলে, নীচের জলের তাপমাত্রা বৃদ্ধি পায়। উল্লেখযোগ্য যে তাপমাত্রার পার্থক্য লক্ষ করে প্রপাতের উচ্চতা নির্ধারণ করা যায়। 108 পৃষ্ঠার 2 নং উদাহরণ দেখো।

2. গতিশক্তি বাড়লে তাপমাত্রা বাড়ে। কিন্তু লোহার টুকরোকে জোরে ছুড়ে দিলে তার গতিশক্তি বাড়ে কিন্তু তাপমাত্রা বাড়ে না। অথচ লোহার টুকরোকে এক জায়গায় স্থির রেখে হাতুড়ি দিয়ে আঘাত করলে, তার তাপমাত্রা বাড়ে। কেন এরূপ হয়?
- কোনো কঠিন পদার্থের অভ্যন্তরীণ শক্তি ঐ পদার্থের অণুগুলির কম্পনজনিত গতিশক্তির উপর নির্ভর করে। এই কারণে একখণ্ড লোহাকে বায়ুমধ্যে জোরে ছুড়ে দিলে তার সমগ্র গতিশক্তি বৃদ্ধি পাবে কিন্তু অভ্যন্তরীণ শক্তির কোনো পরিবর্তন হবে না; ফলে, তার উষ্ণতার কোনো পরিবর্তন হবে না। কিন্তু ঐ টুকরোকে হাতুড়ি দিয়ে পেটালে অণুগুলির কম্পনজনিত গতিশক্তি বৃদ্ধি পায় এবং সঙ্গে সঙ্গে অভ্যন্তরীণ শক্তিও বৃদ্ধি পায়। তখন টুকরোটি উষ্ণ হয়ে পড়ে।
3. সমোষ্ণ প্রক্রিয়া কার্যত অত্যন্ত মন্থর একটি প্রক্রিয়া—ব্যাখ্যা করো।
- সমোষ্ণ প্রক্রিয়ার ভিতর দিয়ে গেলে বস্তুর তাপমাত্রার কোনো পরিবর্তন হয় না। কোনো গ্যাসকে যদি সহসা চাপ দিয়ে সংনমিত করা হয়, তবে কিছু তাপের উৎপত্তি হবে এবং গ্যাসের উষ্ণতা বৃদ্ধি পাবে। কিন্তু যদি খুব ধীরে ধীরে গ্যাসকে সংনমিত করা হয় এবং উৎপন্ন তাপকে সঙ্গে সঙ্গে অপসারণের ব্যবস্থা করা হয় তবে ঐ গ্যাসের তাপমাত্রা স্থির থাকবে। তখন ঐ পরিবর্তনকে সমোষ্ণ পরিবর্তন বা প্রক্রিয়া বলা হয়।
একইভাবে, কোনো গ্যাসকে যদি সহসা প্রসারিত হতে দেওয়া হয়, তবে গ্যাস কিছু কার্য করবে এবং তাতে গ্যাস শীতল হবে। কিন্তু প্রসারণ যদি খুব ধীরে ধীরে হয় এবং যে হারে গ্যাস শীতল হচ্ছে ঠিক সেই হারে বাইরে থেকে তাপ সরবরাহ করা হয়, তবে ঐ গ্যাসের উষ্ণতা স্থির থাকবে। তখন ঐ প্রক্রিয়াকেও সমোষ্ণ প্রক্রিয়া বলা হবে।
অতএব সামোষ্ণ প্রক্রিয়ায় প্রয়োজনমত তাপ নিষ্কাশন এবং তাপ সরবরাহ করে বস্তুর তাপমাত্রা স্থির রাখা হয়। একথা স্পষ্ট বোঝা যায় যে সমোষ্ণ প্রক্রিয়া সফল করার জন্য—অর্থাৎ প্রয়োজনমত তাপের আদানপ্রদান ঘটাবার জন্য সংনমন বা প্রসারণ খুব ধীরে ধীরে করা বাঞ্ছনীয়—কারণ তাহলে উৎপন্ন তাপ নিষ্কাশন করার অথবা তাপ শোষণের জন্য প্রয়োজনীয় তাপ সরবরাহ করার সময় পাওয়া যাবে। তাই, খুব মন্থর পরিবর্তনের যে-কোনো প্রক্রিয়াকে সমোষ্ণ প্রক্রিয়া বলে গণ্য করা যায়।
4. বৃদ্ধতাপ প্রক্রিয়ায় গ্যাসের প্রসারণ হলে, গ্যাস কোনো কার্য করে কি? করলে, এই শক্তির উৎস কী?
- বৃদ্ধতাপ প্রক্রিয়ায় প্রসারণ হলে গ্যাস কার্য করে। কার্য করার শক্তি গ্যাস নিজস্ব অভ্যন্তরীণ শক্তি হতে আহরণ করে। অভ্যন্তরীণ শক্তির হ্রাসের ফলে গ্যাস শীতল হয়ে পড়ে।
5. 1m^3 আয়তনের একটি পাত্রকে পার্টিশান দ্বারা সমান দু-ভাগে ভাগ করা হয়েছে। একভাগ 300 K উষ্ণতার আদর্শ গ্যাস দ্বারা ভর্তি এবং অপর ভাগ সম্পূর্ণ শূন্য। সমস্ত ব্যবস্থাটিকে পরিপার্শ্বের সাথে তাপীয় সংযোগহীন অবস্থায় রাখা আছে। এইবার পার্টিশান সরিয়ে নিলে, গ্যাস প্রসারিত হয়ে সমগ্র আয়তন অধিকার করল। এতে গ্যাসের উষ্ণতার কী পরিবর্তন হবে?
[Jt. Entrance 1993]
- সমগ্র প্রক্রিয়াটি বৃদ্ধতাপ প্রক্রিয়া কারণ পাত্রটির সাথে পরিপার্শ্বের কোনো তাপীয় যোগাযোগ নেই। এখন তাপগতিবিদ্যার প্রথম সূত্র হতে জানি যে $dQ = dU + dW$ অথবা $dQ = dU + p.dV$ । প্রক্রিয়াটি বৃদ্ধতাপ হওয়ায় $dQ = 0$ এবং গ্যাস পাত্রের শূন্য অংশে প্রসারিত হওয়ায় চাপ $p = 0$; অতএব, $dU = 0$
গ্যাসের উষ্ণতা গ্যাসের অভ্যন্তরীণ শক্তি পরিবর্তনের উপর নির্ভর করে। যেহেতু $dU = 0$ তাই গ্যাসের উষ্ণতার কোনো পরিবর্তন হবে না; উষ্ণতা 300 K থাকবে।
6. নির্দিষ্ট পরিমাণ গ্যাসের আয়তন ধীরে ধীরে অর্ধেক করা হল। প্রক্রিয়াটি দ্রুত সম্পন্ন হলে, কৃতকার্য বেশি না কম হত? ব্যাখ্যা করো।
[Jt. Entrance 1988]

- আয়তন ধীরে ধীরে অর্ধেক করা হলে, প্রক্রিয়াটি সমোষ্ণ হবে, এবং তাপমাত্রা স্থির থাকবে। ফলে গ্যাসের অভ্যন্তরীণ শক্তির কোনো পরিবর্তন হবে না। এখানে শুধু গ্যাসের আয়তন পরিবর্তন করার জন্য কার্য করতে হবে।

অপরপক্ষে, আয়তন দ্রুত অর্ধেক করা হলে, প্রক্রিয়াটি হবে বুদ্ধতাপ প্রক্রিয়া। ফলে গ্যাসের তাপমাত্রা তথা অভ্যন্তরীণ শক্তি বৃদ্ধি পাবে। এর জন্য কিছু কার্যের প্রয়োজন। আবার গ্যাসের আয়তন অর্ধেক করার জন্যও কিছু কার্যের প্রয়োজন। সুতরাং দ্বিতীয় ক্ষেত্রে কৃতকার্যের পরিমাণ বেশি হবে।

7. সমোষ্ণ ও বুদ্ধতাপ লেখ দুটির মধ্যে কোনটি বেশি খাড়া?

- উপরোক্ত লেখ দুটির মধ্যে বুদ্ধতাপ লেখ বেশি খাড়া।

1.4 নং চিত্রে AB সমোষ্ণ লেখ এবং CD বুদ্ধতাপ লেখ। সমোষ্ণ লেখের M বিন্দুতে চাপ P এবং আয়তন V হলে, $PV = \text{ধ্রুবক}$ । ডিফারেন্সিয়েট করলে পাই, $V.dP + P.dV = 0$; লেখচিত্রের M বিন্দুতে

নতি $= \frac{dP}{dV} = -\frac{P}{V}$ (নেগেটিভ চিহ্ন বুঝায় যে চাপ বৃদ্ধি করলে আয়তন হ্রাস পায়।)

আবার, বুদ্ধতাপ লেখচিত্রের M বিন্দুতে $P.V^\gamma = \text{ধ্রুবক}$ ।

ডিফারেন্সিয়েট করলে, $\gamma PV^{\gamma-1} dV + V^\gamma dP = 0$

অথবা, $\frac{dP}{dV} = -\gamma \frac{P}{V}$ অর্থাৎ বুদ্ধতাপ লেখচিত্রের

M বিন্দুতে নতি $\frac{dP}{dV} = -\gamma \cdot \frac{P}{V}$

γ সর্বদা 1-এর বেশি; সুতরাং বুদ্ধতাপ নতি সমোষ্ণ নতি অপেক্ষা বেশি খাড়া।

8. কিছু গ্যাসকে দুটি ভিন্ন পদ্ধতিতে 1 নম্বর অবস্থা থেকে 2 নম্বর (উচ্চচাপ) অবস্থায় সম্প্রসারিত করা হল। পদ্ধতি দুটি যথাক্রমে (ক) প্রথমে আয়তন স্থির রেখে পরিবর্তন ঘটানো হল ও পরে চাপ স্থির রেখে শেষ অবস্থায় আনা হল (খ) প্রথমে চাপ স্থির রেখে পরিবর্তন ঘটানো হল ও পরে আয়তন স্থির রেখে শেষ অবস্থায় আনা হল। তাহলে কোন পদ্ধতিতে গ্যাসকে বেশি তাপের (heat) যোগান দিতে হবে? যুক্তিসহ উত্তর দাও।

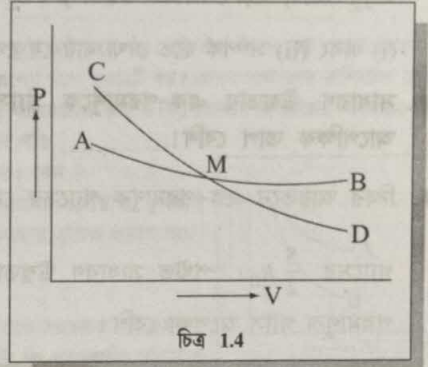
[Jt. Entrance 1989]

- (ক) ধরো, 1 নং অবস্থায় গ্যাসের চাপ, আয়তন ও তাপমাত্রা যথাক্রমে P_1, V_1 এবং T_1 ; 2 নং অবস্থায় P_2, V_2 এবং T_2 । দেওয়া আছে $P_2 > P_1$ । প্রথম পদ্ধতির প্রথমার্শে আয়তন স্থির থাকায় চাপ এবং তাপমাত্রার পরিবর্তন হবে। আয়তনের কোনো পরিবর্তন না হওয়ায় কোনো বাহ্য কাজ করা হবে না কিন্তু তাপমাত্রার পরিবর্তনে অভ্যন্তরীণ শক্তির পরিবর্তন হবে। সুতরাং প্রথম অংশের জন্য কোনো তাপ দরকার হবে না। দ্বিতীয় অংশে চাপ স্থির রেখে আয়তন পরিবর্তন করায় বাহ্য কাজ করা হবে এবং তারজন্য তাপ সরবরাহ করতে হবে। সুতরাং এক্ষেত্রে প্রয়োজনীয় তাপ $Q_1 = dU + P_2(V_2 - V_1) \dots \dots (i)$

(খ) দ্বিতীয় পদ্ধতির প্রথমার্শে আয়তন পরিবর্তন করায় (P_1 স্থির চাপে) কৃতকার্য $= P_1(V_2 - V_1)$; দ্বিতীয়ার্শে আয়তন স্থির থাকায় কোনো বাহ্য কাজ হবে না কিন্তু তাপমাত্রার পরিবর্তনে অভ্যন্তরীণ শক্তির পরিবর্তন হবে। এক্ষেত্রে প্রয়োজনীয় তাপ $Q_2 = dU + P_1(V_2 - V_1)$

যেহেতু $P_2 > P_1$ সেহেতু $Q_1 > Q_2$

সুতরাং, প্রথম পদ্ধতিতে গ্যাসে বেশি তাপ জোগান দিতে হবে।



9. একই ধাতু দিয়ে তৈরি দুটি গোলকের ভর 5g এবং 10g। এরা একই গতিবেগে একটি টার্গেটকে আঘাত করল। সমস্ত শক্তি যদি গোলক দুটিকে উত্তপ্ত করতে ব্যয়িত হয় তবে কোন গোলকটির তাপমাত্রা বেশি হবে?

- ছোটো গোলকটি যে তাপ উৎপন্ন করল তা $H = \frac{1}{2} \times \frac{5 \times v^2}{J}$ cal [v = গোলকের গতিবেগ]

$$\text{গোলকটির উষ্ণতা বৃদ্ধি } \theta_1 \text{ হলে } \theta_1 = \frac{H}{m_1 S} = \frac{1}{2} \times \frac{5 \times v^2}{J \times 5 \times S} = \frac{v^2}{2JS} \dots (i)$$

[S = ধাতুর আপেক্ষিক তাপ]

$$\text{অনুরূপভাবে, বড়ো গোলকটির উষ্ণতা বৃদ্ধি } \theta_2 \text{ হলে, } \theta_2 = \frac{H}{m_2 S} = \frac{1}{2} \times \frac{10 \times v^2}{J \times 10 \times S} = \frac{v^2}{2JS} \dots (ii)$$

(i) এবং (ii) সম্পর্ক হতে দেখা যায় যে গোলকদ্বয়ের উষ্ণতা বৃদ্ধি সমান হবে।

10. সাধারণ উষ্ণতায় এক-পরমাণুক গ্যাস এবং দ্বি-পরমাণুক গ্যাসের মধ্যে কোন্টির আপেক্ষিক তাপ বেশি।

- স্থির আয়তনে এক-পরমাণুক গ্যাসের মোলার আপেক্ষিক তাপ $\frac{3}{2} R_0$ এবং দ্বি-পরমাণুক গ্যাসের $\frac{5}{2} R_0$ । স্পষ্টত সাধারণ উষ্ণতায় দ্বি-পরমাণুক গ্যাসের আপেক্ষিক তাপ এক-পরমাণুক গ্যাস অপেক্ষা বেশি।

* প্রশ্নাবলি *

→ রচনামূলক প্রশ্ন

1. তাপ এক প্রকার শক্তি—এই সিদ্ধান্তে পৌছোবার সপক্ষে যুক্তির অবতারণা করো।
2. পরীক্ষার সাহায্যে তাপের যান্ত্রিক তুল্যাঙ্কের মান কীরূপে নির্ণয় করবে?
3. গ্যাসের ক্ষেত্রে স্থিরচাপে আপেক্ষিক তাপ (C_p) এবং স্থির আয়তনে আপেক্ষিক তাপ (C_v) পৃথক হয় কেন? তাদের অন্তরফল নির্ণয় করো।
4. সমোষ্ণ ও বৃদ্ধতাপ প্রক্রিয়া কাকে বলে? ঐ সকল প্রক্রিয়া সফল করবার জন্য কী কী শর্ত প্রয়োজন?
[Jt. Entrance 1990]
5. প্রত্যাবর্তক ও অপ্রত্যাবর্তক প্রক্রিয়া ব্যাখ্যা করো। তাপগতিবিদ্যার দ্বিতীয় সূত্র বিবৃত ও ব্যাখ্যা করো।

→ সংক্ষিপ্ত উত্তরের প্রশ্ন

1. তাপের যান্ত্রিক তুল্যাঙ্ক কাকে বলে? এস্. আই. এবং সি. জি. এস্. এককে এর মান কত?
2. তাপগতিবিদ্যার প্রথম সূত্রটি বল ও ব্যাখ্যা করো।
3. (i) কার্য তাপে রূপান্তরিত হয়—এর ব্যাখ্যাস্বরূপ দুটি সাধারণ উদাহরণ উল্লেখ করো। তাপের যান্ত্রিক তুল্যাঙ্ক 4.2 joule/cal বলতে কী বোঝ? (ii) 1g জলের 1°C তাপমাত্রা বৃদ্ধি করতে কত কার্য দরকার হবে?
4. তাপগতিবিদ্যার প্রথম সূত্র বিবৃত করো। গ্যাসের অভ্যন্তরীণ শক্তি কাকে বলে? এটা কীসের উপর নির্ভর করে?
5. একটি লোহার বল এবং একটি রবার বল (একই ভর ও সাইজের) একই উচ্চতা হতে মাটিতে ফেললে, কোন বলটি বেশি উত্তপ্ত হবে?

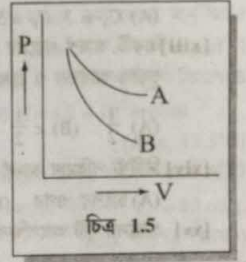
[সংক্ষেপে : এক্ষেত্রে উচ্চতা এবং ভর সমান হওয়ায় কৃতকার্য সমান। কিন্তু লোহা ও রবারের আপেক্ষিক তাপ সমান না হওয়ায়, তাদের তাপমাত্রা সমান হবে না। যেটির আপেক্ষিক তাপ কম, সেটির তাপমাত্রা বেশি হবে কারণ তাপমাত্রা বৃদ্ধি $\theta = H/ms$ ।]

6. ছুরি, কাঁচি শান দেবার সময় আগুনের ফুল্কি ওঠে। সেই তাপ কীরূপে সৃষ্টি হয়?
7. গ্যাসের মোলার আপেক্ষিক তাপ কাকে বলে? গ্যাসের দুটি আপেক্ষিক তাপের অনুপাত কী কাজে লাগে?
8. সমোষ্ণ ও বৃদ্ধতাপ প্রক্রিয়ার ভিতর পার্থক্য কী?

9. গ্যাসের বৃদ্ধিতাপ প্রসারণে পারিপার্শ্বিকের সাথে তাপের আদানপ্রদান ঘটে না। এতদসত্ত্বেও গ্যাসের উষ্ণতা হ্রাস পায়। এর কারণ কী?
10. কোনো সংস্থার তাপমাত্রা বৃদ্ধি পেলে কিছু সংস্থায় কোনো তাপ সরবরাহ করা হল না। এটা কি সম্ভব?
[সংকেত : সম্ভব। বৃদ্ধিতাপ প্রক্রিয়ায় সংস্থার সাথে পরিপার্শ্বের কোনো তাপ আদানপ্রদান হয় না কিন্তু সংস্থার তাপমাত্রার পরিবর্তন হয়।]
11. গ্যাসের বৃদ্ধিতাপ প্রসারণের সময় গ্যাস কি কোনো কার্য করে? করলে এই কার্য করবার শক্তি কোথা হতে আসে?
12. পিস্টন ফিট করা একটি চোঙে এক মোল আদর্শ গ্যাস আছে। এ গ্যাসের চাপ P , আয়তন V এবং তাপমাত্রা T ;
তাপমাত্রা $1K$ বৃদ্ধি পেলে (চাপ অপরিবর্তিত থাকে) দেখাও যে (i) গ্যাসের আয়তন বৃদ্ধি $= \frac{V}{T}$ (ii) গ্যাস কর্তৃক কৃতকার্য $= \frac{PV}{T}$ (iii) গ্যাস কর্তৃক শোষিত তাপ $= \frac{PV}{T}$ ।

→ অতি সংক্ষিপ্ত উত্তরের প্রশ্ন

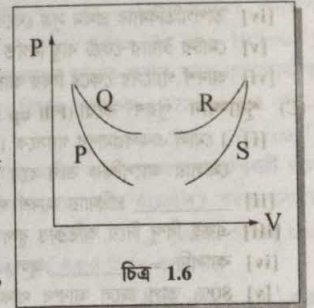
1. একটি তারা খসে পৃথিবীর আবহমণ্ডলে প্রবেশ করলে পুড়ে ছাই হয়ে যায়। এই তাপ উৎপন্ন হয় কোথা থেকে?
2. স্থির চাপে এবং স্থির আয়তনে গ্যাসের আপেক্ষিক তাপের মধ্যে কোনটি বড়? এদের পার্থক্যের রাশিমালা লেখ।
3. এমন একটি প্রক্রিয়ার নাম করো যেখানে তাপের কোনো আদানপ্রদান হল না কিন্তু সংস্থার তাপমাত্রার পরিবর্তন হল।
4. সমোষ্ণ সংকোচনের ক্ষেত্রে কোনো গ্যাসের অভ্যন্তরীণ শক্তি _____।
5. জলপ্রপাতের তলার জল উপরের জল অপেক্ষা উষ্ণতর। কেন?
6. 1.5 নং চিত্রে প্রদর্শিত A এবং B লেখচিত্র দুটি আদর্শ গ্যাসের সমোষ্ণ ও বৃদ্ধিতাপ অবস্থায় P-V লেখচিত্র প্রকাশ করো। A লেখচিত্রটি সমোষ্ণ প্রক্রিয়া প্রকাশ করে। এটা কি ঠিক?
7. বৃদ্ধিতাপ প্রসারণে গ্যাস _____ হয়।
8. হাতের দুই তালু ঘষলে, তালু উত্তপ্ত হয়। তালুতে কি তাপ সরবরাহ করা হল?
9. তরলকে জোরে আলোড়ন করলে, তরল উষ্ণ হয়। এটা কি প্রত্যাবর্তক প্রক্রিয়া?
10. নির্দিষ্ট ভরের গ্যাসের দুই সমোষ্ণ লেখচিত্র পরস্পরকে ছেদ করতে পারে কি?



→ বহুমুখী পছন্দের প্রশ্ন [Multiple choice type (MCQ)]

(A) নির্ভুল উত্তরটি ✓ চিহ্নিত করো :

- [i] তাপগতিবিদ্যার প্রথম সূত্রের বস্তব্য থেকে জানা যায় যে
(A) সংস্থায় কোনো তাপ প্রবেশ করে না, কোন তাপ নির্গত হয় না।
(B) সংস্থার তাপমাত্রা স্থির থাকে।
(C) সংস্থার শক্তি সংরক্ষিত থাকে।
(D) সমস্ত কার্যই যান্ত্রিক।
- [ii] নিম্নলিখিত রাশিগুলির মধ্যে কোনটি বৃদ্ধিতাপ প্রক্রিয়ায় স্থির থাকে?
(A) চাপ (B) তাপমাত্রা (C) তাপ (D) আয়তন।
- [iii] একটি নির্দিষ্ট ভরের গ্যাসের বেলায় চারটি P-V লেখচিত্র দেখানো হল (চিত্র 1.6)। যে দুটি লেখচিত্র বৃদ্ধিতাপ ও সমোষ্ণ প্রক্রিয়া প্রকাশ করে তারা হল যথাক্রমে
(A) R এবং S (B) S এবং R (C) P এবং Q (D) Q এবং P.
- [iv] বাইরের চাপের বিরুদ্ধে একটি আদর্শ গ্যাস বৃদ্ধিতাপ প্রক্রিয়ায় সমপ্রসারিত হয়ে 5J কার্য করল। এতে গ্যাসের
(A) তাপমাত্রা হ্রাস পাবে (B) অভ্যন্তরীণ শক্তি হ্রাস পাবে
(C) চাপ বৃদ্ধি পাবে (D) চাপ হ্রাস পাবে।
- [v] নিম্নলিখিত সংরক্ষণগুলির মধ্যে কোনটি তাপগতিবিদ্যার প্রথম সূত্র জ্ঞাপন করে?
(A) তাপের সংরক্ষণ (B) কার্যের সংরক্ষণ
(C) ভরবেগের সংরক্ষণ (D) শক্তির সংরক্ষণ।
- [vi] সমোষ্ণ প্রক্রিয়ায় আদর্শ গ্যাসে তাপ সরবরাহ করলে,
(A) গ্যাসের অভ্যন্তরীণ শক্তি বৃদ্ধি পায় (B) গ্যাস ধনাত্মক কার্য সম্পন্ন করে
(C) গ্যাস ঋণাত্মক কার্য সম্পন্ন করে (D) এ প্রক্রিয়া সম্ভব নয়।



- [vii] নিম্নলিখিত উক্তি দুটি বিবেচনা করো (i) কোনো সংস্থায় তাপ সরবরাহ করলে তার তাপমাত্রা অবশ্যই বৃদ্ধি পাবে (ii) কোনো তাপগতীয় প্রক্রিয়ায় কোনো সংস্থা ধনাত্মক কার্য করলে, তার আয়তন অবশ্যই বৃদ্ধি পাবে
 (A) দুটি উক্তিই নির্ভুল (B) (i) উক্তি নির্ভুল কিন্তু (ii) উক্তি ভুল
 (C) (i) উক্তি ভুল কিন্তু (ii) উক্তি নির্ভুল (D) দুটি উক্তিই ভুল।

[viii] একটি আদর্শ গ্যাসের অভ্যন্তরীণ শক্তির হ্রাস সংস্থা কর্তৃক কৃতকার্যের সমান ; যদি

- (A) প্রক্রিয়াটি বৃদ্ধতাপ প্রক্রিয়া (B) প্রক্রিয়াটি সমোন্নয়ন প্রক্রিয়া
 (C) প্রক্রিয়াটি সমচাপ (isobaric) প্রক্রিয়া (D) তাপমাত্রা অবশ্যই হ্রাস পায়।

[ix] $PV^\gamma = \text{ধ্রুবক}$ এই সমীকরণে $\gamma = 1$ হলে প্রক্রিয়াটি

- (A) সমোন্নয়ন (B) বৃদ্ধতাপ (C) সমচাপ (D) অপ্রত্যাবর্তক।

[x] বায়ুমণ্ডলীয় চাপে জলকে উত্তপ্ত করণ প্রক্রিয়াটি

- (A) সমোন্নয়ন প্রক্রিয়া (B) সমচাপ (isobaric) প্রক্রিয়া
 (C) বৃদ্ধতাপ প্রক্রিয়া (D) সমআয়তন (isochoric) প্রক্রিয়া।

[xi] 1 mole আদর্শ গ্যাসের উষ্ণতা 10J, বৃদ্ধি করতে 207J তাপ লাগে। এ গ্যাসকে স্থির আয়তনে একই উষ্ণতা বৃদ্ধি করতে তাপ লাগবে,

- (A) 198.7J (B) 215.3J (C) 124J (D) 24J.

[xii] একটি পরীক্ষাকার্যে C_v এবং C_p নিম্নলিখিত মানগুলি পাওয়া গেল। এদের একক $\text{cal g}^{-1} \text{mol}^{-1} \text{K}^{-1}$ । কোন্ মান দুটি সর্বাপেক্ষা নির্ভরযোগ্য ?

- (A) $C_v = 3, C_p = 5$ (B) $C_v = 4, C_p = 6$ (C) $C_v = 3, C_p = 2$ (D) $C_v = 3, C_p = 4.2$.

[xiii] একটি আদর্শ গ্যাসের বৃদ্ধতাপ সংকোচনের ক্ষেত্রে যখন তার তাপমাত্রা প্রাথমিক তাপমাত্রার দ্বিগুণ হয় তখন তার চূড়ান্ত আয়তন ও প্রাথমিক আয়তনের অনুপাত

- (A) $\frac{1}{2}$ (B) $< \frac{1}{2}$ (C) $> \frac{1}{2}$ (D) 1 এবং $\frac{1}{2}$ -এর মধ্যে

[xiv] নির্দিষ্ট পরিমাণ আদর্শ গ্যাসের অভ্যন্তরীণ শক্তি নির্ভর করে গ্যাসের

- (A) চাপের ওপর (B) আয়তনের ওপর (C) তাপমাত্রার ওপর (D) ঘনত্বের ওপর

[xv] গ্যাসের দুটি আপেক্ষিক তাপ C_p এবং C_v -র ক্ষেত্রে নিম্নের কোনো সম্পর্কটি সঠিক ?

- (A) $C_p - C_v = \frac{R}{J}$ (B) $\frac{C_p}{C_v} = R$ (C) $C_p - C_v = R.J.$ (D) $C_p + C_v = R.J.$

[xvi] বৃদ্ধতাপ প্রসারণে 10 মোল পরিমাণ একটি গ্যাসের আয়তনের পরিবর্তন হল 100 joule। গ্যাসটি কি পরিমাণ কার্য করে ?

- (A) -100 joule (B) +100 joule (C) 1000 joule (D) -1000 joule.

[Jt. Entrance 2006]

(B) ভুল কি নির্ভুল বিচার করো (True or false type) :

- [i] ঘর্ষণের ফলে বস্তুর অণু পরমাণুর গতি বৃদ্ধি পায় এবং এই বর্ধিত গতিশক্তিই তাপশক্তিরূপে আত্মপ্রকাশ করে।
 [ii] সাধারণভাবে যখনই কোনো বস্তুতে তাপ সরবরাহ করা হয়, তখন তার সবটাই বস্তুর অভ্যন্তরীণ শক্তি বৃদ্ধি করে।
 [iii] ক্রিসিয়াস তাপগতিবিদ্যার প্রথম সূত্রকে যেভাবে ব্যাখ্যা করেছেন তা অতি পরিচিত শক্তি সংরক্ষণ সূত্রের নামান্তর।
 [iv] তাপগতিবিদ্যার প্রথম সূত্র থেকে জানা যায় যে কোনো কিছু ব্যয় না করে কার্য বা শক্তি পাওয়া সম্ভব হতে পারে।
 [v] মোটর টায়ার ফেটে বায়ু নির্গত হবার প্রণালীতে সমোন্নয়ন প্রণালী বলা যেতে পারে।
 [vi] আদর্শ গ্যাসের ক্ষেত্রে স্থির আয়তনে আপেক্ষিক তাপ সর্বদা স্থির চাপে আপেক্ষিক তাপ অপেক্ষা কম।

(C) শূন্যস্থান পূরণ করো (Fill up the gaps) :

- [i] 1 মোল একপরমাণুর গ্যাসকে 1 মোল দ্বিপরমাণুর আদর্শ গ্যাসের সাথে মিশ্রিত করা হল। স্থির আয়তনে মিশ্রণের মোলার আপেক্ষিক তাপ হবে _____।
 [ii] _____ প্রক্রিয়ায় আদর্শ গ্যাসের অভ্যন্তরীণ শক্তি অপরিবর্তিত থাকে।
 [iii] একই বিন্দু দিয়ে অতিক্রান্ত বৃদ্ধতাপ বক্ররেখা সমোন্নয়ন বক্ররেখা অপেক্ষা অধিকতর _____।
 [iv] ক্যালরি = _____ জুল।
 [v] 80% তাপ জলে আবদ্ধ থাকলে 400 metre উচ্চ জলপ্রপাতের শীর্ষ ও পাদদেশের তাপমাত্রা পার্থক্য হবে _____।

[vi] একটি অমসৃণ অনুভূমিক তলের উপর বসানো বস্তুকে বলপ্রয়োগে এক স্থান থেকে অন্য স্থানে নিয়ে যাওয়ার প্রক্রিয়াটি _____ প্রক্রিয়া।

[vii] সমোন্নয়ন সংকোচনের ক্ষেত্রে কোন গ্যাসের অভ্যন্তরীণ শক্তি _____।

➤ সহজ গাণিতিক প্রশ্ন

1. 1 মোল অক্সিজেন গ্যাসকে সমোষ্ণ প্রক্রিয়ায় সংকুচিত করে 22.4 litre হতে 16.8 litre করা হল। গ্যাসের তাপমাত্রা 0°C এবং চাপ 1 বায়ুমণ্ডল হলে, কৃতকার্য নির্ণয় করো। $R_0 = 8.31 \text{ J/mol K}$. [Ans. 652.4J]
2. অন্তরক পদার্থের তৈরি চোঙাকৃতি একটি নলের দৈর্ঘ্য 15 cm; এর দুই মুখ বন্ধ এবং এর ভিতরে 500 g সিসা গুলি আছে। নলের খাড়া অবস্থায় সিসা-গুলি নলের 6 cm দৈর্ঘ্য অধিকার করে। নলটিকে হঠাৎ উল্টালে সিসা গুলি এক প্রান্ত হতে অপর প্রান্তে পড়ল। নলটিকে এভাবে দুত 2000 বার উল্টানো হল। থার্মোমিটারের সাহায্যে দেখা গেল যে সিসা-গুলির তাপমাত্রা 14°C বৃদ্ধি পেয়েছে। বিকিরণ প্রভৃতি পদ্ধতিতে কোনো তাপক্ষয় না হলে, তাপের যান্ত্রিক তুল্যাঙ্ক নির্ণয় করো। সিসার আঃ তাঃ = 0.03; $g = 980 \text{ cms}^{-2}$ [Ans. $4.2 \times 10^7 \text{ ergcal}^{-1}$]
3. 0°C উষ্ণতার 50 g বরফকে 100°C উষ্ণতার জলে পরিণত করতে যে তাপের প্রয়োজন, তা উৎপন্ন করতে কত কার্য করতে হবে? বরফ গলনের লীনতাপ $L_f = 80 \text{ cal/g}$. [Ans. $37.8 \times 10^{10} \text{ cal}$]
4. 1 kg ভরের একটি বস্তু 1 km উঁচু হতে মাটিতে পড়ল। সমস্ত শক্তিই তাপে রূপান্তরিত হলে কত তাপ উৎপন্ন হবে? $J = 4.1 \times 10^7 \text{ erg/cal}$. [Ans. $233 \times 10^3 \text{ cal}$]
5. প্রত্যেকটি 1.3 kg ভরের দুটি বস্তুকে 160 cm উচ্চতা হতে 200 বার ফেলা হল। এতে যে কাজ সম্পন্ন হল তা 6 kg জলের তাপমাত্রা 0.3°C বৃদ্ধি করল। ঐ জল রাখা ছিল 300 g জলসমযুক্ত একটি ক্যালোরিমিটারে। তাপের যান্ত্রিক তুল্যাঙ্ক নির্ণয় করো। [Ans. $4.3 \times 10^7 \text{ erg/cal}$]
6. স্থির অবস্থায় হতে একটি ধাতব টুকরো 90 m নীচে মাটিতে পড়ায় তার তাপমাত্রা 1.4°C বাড়ল। যদি ধরা হয় যে, উৎপন্ন তাপের $\frac{2}{3}$ অংশ ধাতুটির তাপমাত্রা বৃদ্ধিতে কার্যকর হয়, তাহলে, তাপের যান্ত্রিক তুল্যাঙ্কের মান কত? ধাতুটির আপেক্ষিক তাপ = 0.1 এবং $g = 980 \text{ cms}^{-2}$. [Ans. $4.2 \times 10^7 \text{ ergcal}^{-1}$]
7. 200 m উঁচু হতে একখণ্ড সিসা ভূমিতে পড়ল। সমস্ত শক্তিই তাপে রূপান্তরিত হল এবং ঐ তাপ সম্পূর্ণরূপে সিসাখণ্ডে আবদ্ধ থাকলে তার তাপমাত্রা বৃদ্ধি কত হবে? সিসার আপেক্ষিক তাপ = 0.03; $J = 4.2 \times 10^7 \text{ erg/cal}$. [Ans. 15.5°C]
8. 12.6 kg ভরের একটি ধাতব প্লেট 230 cm উঁচু হতে 0°C উষ্ণতায় একখণ্ড বরফের উপর পড়ল। সমস্ত শক্তিই তাপে পরিণত হলে, কত বরফ গলবে? $J = 4.2 \times 10^7 \text{ ergcal}^{-1}$ এবং বরফ গলনের লীনতাপ $L_f = 80 \text{ cal/g}$. [Ans. 0.85g (প্রায়)]
9. 50 m/s বেগে ধাবিত একটি লোহার বলকে হঠাৎ গতিহীন করা হল। সমস্ত শক্তি তাপে রূপান্তরিত হলে বলটির চূড়ান্ত তাপমাত্রা কত হবে? বলটির প্রারম্ভিক তাপমাত্রা ছিল 25°C . (লোহার আপেক্ষিক তাপ 0.1) [Ans. 27.9°C]
10. সিসার তৈরি বুলেট লক্ষ্যে আঘাত করবার ফলে যে-তাপের সৃষ্টি করল, তাতে বুলেটের তাপমাত্রা 200°C বৃদ্ধি পেলে। বুলেটের গতিবেগ নির্ণয় করো। সিসার আপেক্ষিক তাপ = 0.03. [Ans. 224.4 metre/s (প্রায়)]
11. একটি সিসা বুলেট 0.4 km/s বেগে ছুটে একটি কংক্রীট দেওয়ালে আঘাত করল। বুলেটের গতিশক্তির $\frac{1}{4}$ অংশ তাপে পরিণত হলে, বুলেটের তাপমাত্রা কত বৃদ্ধি পাবে? সিসার আঃ তাপ = 0.03. [Ans. 158.73°C]
12. কার্গিল যুদ্ধে জনৈক ভারতীয় সৈনিক লক্ষ করলেন যে 47°C তাপমাত্রার একটি সিসার বুলেট ছুটে গিয়ে একটি প্রতিবন্ধকে ধাক্কা খেল এবং ধাক্কার ফলে যে তাপ সৃষ্টি হল তা বুলেটকে গলাবার পক্ষে ঠিক সমান ছিল। বুলেট কত গতিবেগে প্রতিবন্ধকে ধাক্কা দিল? সিসার গলনাঙ্ক = 327°C ; সিসার আঃ তাঃ = 0.03; গলনের লীনতাপ = 6 calg^{-1} এবং $J = 4.2 \times 10^7 \text{ ergcal}^{-1}$. [Ans. $34.78 \times 10^3 \text{ cms}^{-1}$]
13. একখণ্ড সিসার উষ্ণতা 27°C ; কত নিম্নতম গতিবেগে খণ্ডটি একটি দেওয়ালে আঘাত করবে যাতে আঘাতজনিত তাপে খণ্ডটি গলে যায়? উৎপন্ন তাপের 58% নষ্ট হয়েছে ধরে নাও। সিসার গলনাঙ্ক = 327°C ; আঃ তাঃ = 0.03; গলনের লীনতাপ $L_f = 5 \text{ calg}^{-1}$ এবং $J = 4.2 \text{ joulecal}^{-1}$. [Ans. $5.3 \times 10^4 \text{ cms}^{-1}$]
14. 0°C উষ্ণতায় এক খণ্ড বরফ উপর হতে মাটিতে ফেলা হল। কেবলমাত্র মাটির সাথে সংঘাতে বরফখণ্ডটি গলে গেল। এর শক্তির 60% তাপশক্তিতে রূপান্তরিত হলে তাকে কোন উচ্চতা হতে ফেলা হয়েছিল? বরফ গলনের লীনতাপ = 80 cal/g . [Ans. 57.14 km]
15. 1 kg জলকে 10°C উত্তপ্ত করতে যে-তাপ প্রয়োজন হয় তার সমতুল্য কার্য আর্গে নির্ণয় করো। [Ans. $4.2 \times 10^{11} \text{ erg}$]
16. সূর্য হতে পৃথিবী $8.4 \text{ joule/cm}^2/\text{min}$ হারে শক্তি সংগ্রহ করে। 100 g জলের তাপমাত্রা 25°C হতে বৃদ্ধি পেয়ে ফুটনাঙ্কে পৌঁছাতে কত সময় লাগবে নির্ণয় করো। ঐ জল 150 g ভরের একটি কুম্ভবর্ণ তামার পাত্রে রেখে পাত্রকে 1000 cm^2 উন্মোচযুক্ত এবং সূর্যের দিকে মুখ করে বসানো একটি অবতল দর্পণের ফোকাস বিন্দুতে রাখা আছে। $(J = 4.2 \text{ joule/cal}$ এবং তামার আপেক্ষিক তাপ = 0.1) [Ans. 4 mnt 18 s]

17. একটি লোহার বল স্থিরাবস্থা হতে 30 m উচ্চতা অবরোধন করাতে যে গতিশক্তি লাভ করল তা বলটির তাপমাত্রা 0.7°C বৃদ্ধি করবার পক্ষে যথেষ্ট হল। এ থেকে তাপের যান্ত্রিক তুল্যাক্ষের কী মান পাওয়া যায়? লোহার আঃ তাপ = 0.1] [Ans. 4.2×10^7 ergcal⁻¹]

18. (a) 400 m উঁচু জলপ্রপাতের শীর্ষদেশ ও পাদদেশের তাপমাত্রার পার্থক্য কত হবে যদি উৎপন্ন তাপের 80% জলে আবদ্ধ থাকে? [Ans. 0.373°C]

[সংকেতঃ $m \times 980 \times 400 \times 10^2 \times \frac{80}{100} = 4.2 \times 10^7 \times m \times \theta$]

19. কোনো জলপ্রপাতের উপরের জলের উষ্ণতা নীচের জলের উষ্ণতা অপেক্ষা 0.49°C কম। জলপ্রপাতের শীর্ষদেশ হতে পাদদেশে আসতে জল যে কার্য করে তার সবটাই যদি তাপশক্তিতে রূপান্তরিত হয়, তাহলে জলপ্রপাতের উচ্চতা নির্ণয় করো। $g = 980 \text{ cm/s}^2$; $J = 4.2 \times 10^7$ erg/cal. [Ans. 210 metre]

20. একটি জলপ্রপাতের উচ্চতা 200 m। জলপ্রপাতের উপরিস্থিত জলের স্থিতিশক্তির শতকরা 90 ভাগ তাপে রূপান্তরিত হয়ে জলে আবদ্ধ থাকলে জলপ্রপাতের শীর্ষ ও পাদদেশের জলের উষ্ণতার পার্থক্য করো। $J = 4.2$ joule/cal; $g = 980 \text{ cm/s}^2$ [Jt. Entrance 1987] [Ans. 0.42°C]

21. -5°C তাপমাত্রার 5 g বরফকে 100°C তাপমাত্রার স্টিমে পরিণত করতে যে তাপ প্রয়োজন তার সমতুল্য কার্য নির্ণয় করো। বরফের আঃ তাপ = 0.5; গলনের লীনতাপ $L_f = 80 \text{ cal/g}$; স্টিমের লীনতাপ $L_g = 537 \text{ cal/g}$; $J = 4.2 \times 10^7$ erg/cal. [Ans. 1.5×10^4 joule. (প্রায়)]

22. 1 g জলকে 100°C উষ্ণ এবং 76 cm পারদ চাপের স্টিমে পরিণত করলে তা 1672 cm² আয়তন অধিকার করে। তরল হতে বাষ্পে রূপান্তরিত হবার সময় প্রতি জল-অণু কতটা স্থিতিশক্তি লাভ করবে হিসাব করো। জলের বাষ্পীভবনের লীনতাপ = 540 cal/g. [Ans. 6.2×10^{-13} erg]

23. $C_p = 6.85 \text{ cal/g mol}$; $C_v = 4.87 \text{ cal/g-mol}$ এবং $R_0 = 8.31 \times 10^7 \text{ erg/mol K}$ হলে, J -র মান নির্ণয় করো। [Ans. 4.18×10^7 erg/cal]

24. যে আদর্শ গ্যাসের $\gamma = 1.41$, তার মোলার আপেক্ষিক তাপ C_p এবং C_v কত? $R = 1.99 \text{ cal/mol } ^\circ\text{C}$ [Ans. 6.84 cal; 4.85 cal]

25. 2 g অক্সিজেনের তাপমাত্রা 30°C হতে 120°C-এ বৃদ্ধি করা হল। স্থির আয়তনে গ্যাসের সম্প্রসারণ হলে গ্যাসের অভ্যন্তরীণ শক্তিবৃদ্ধি হিসাব করো। অক্সিজেনের $c_v = 0.155 \text{ cal/g}$. [Ans. 27.9 cal]

■ কঠিন গাণিতিক প্রশ্ন

1. একটি সিসার বুলেট 300 metre/s গতিবেগে একটি ইস্পাত প্লেটে আঘাত করল; সংঘর্ষের পর বুলেট সম্পূর্ণ স্তব্ধ হলে এবং উৎপন্ন তাপ সমানভাবে বুলেট এবং প্লেটে বন্টিত হলে বুলেটের তাপমাত্রা বৃদ্ধি নির্ণয় করো। সিসার আঃ তাপ = 0.03; $J = 4.2 \times 10^7$ erg/cal. [Ans. 178.6°C]

2. প্রতি মিনিটে 180 বার আবর্তন করতে পারে এরূপ একটি ডিলের সাহায্যে একখণ্ড ইস্পাতে ছিদ্র করতে হবে। ডিল এবং ইস্পাতখণ্ডের মোট ভর 180 g; সমস্ত কার্য যদি তাপে রূপান্তরিত হয় এবং ইস্পাতখণ্ডের তাপমাত্রা বৃদ্ধির হার 0.5°C/s হয় তবে (i) ওয়াট এককে ডিলের কার্যের হার এবং (ii) ডিল চালাতে প্রয়োজনীয় দ্বন্দ্ব নির্ণয় করো। ইস্পাতের আঃ তাঃ = 0.1 cal/g. [Ans. (i) 37.8 watt (ii) 2 newton-metre]

[সংকেতঃ (i) প্রতি সেকেন্ডে উৎপন্ন তাপ = $180 \times 0.1 \times 0.5 = 9 \text{ cal}$. কার্যের হার = $J.H. = 4.2 \times 9 = 37.8$

watt (ii) $2\pi n \tau = 9 \times 4.2$ অথবা, $2\pi \times \frac{180}{60} \times \tau = 9 \times 4.2$]

3. 0.1 kg এবং 0.4 kg ভরের দুটি সিসার গোলক যথাক্রমে 1 metre/s এবং 0.1 metre/s গতিবেগে পরস্পরের দিকে অগ্রসর হচ্ছে। কিছুক্ষণ পরে তাদের সরাসরি সংঘর্ষ হল এবং পরস্পরের সাথে যুক্ত হল। যুক্ত ভর 1.2 cm/s গতিবেগে চলতে লাগল। সংঘর্ষের পূর্বে উভয় গোলকের উষ্ণতা সমান থাকলে যুক্তভরের উষ্ণতাবৃদ্ধি নির্ণয় করো। $J = 4.2 \times 10^7$ erg/cal., সিসার আপেক্ষিক তাপ = 0.03. [Ans. $0.82 \times 10^{-3} ^\circ\text{C}$]

4. পরস্পরের দিকে ধাবিত দ্রুত গতিশীল দুটি সমান বরফের টুকরো সমান গতিবেগে পরস্পরকে আঘাত করল ও সংঘর্ষের ফলে বাষ্পে রূপান্তরিত হয়ে গেল। যদি বরফের তাপমাত্রা -12°C ও আপেক্ষিক তাপ 0.5 হয় তবে ন্যূনতম কত গতিবেগে বরফ দুটি যাচ্ছিল? বরফের লীনতাপ $L_f = 80 \text{ cal/g}$ এবং বাষ্পের লীনতাপ $L_g = 540 \text{ cal/g}$. [Ans. 2469.5 m/s]

5. 10 kg ভরের এক বিরাট বরফখণ্ডকে অনুভূমিক তলযুক্ত বরফ মেঝের উপর দিয়ে 100 metre দূরত্ব টেনে নেওয়া হল। সমস্ত বরফের তাপমাত্রা 0°C; কত পরিমাণ বরফ গলবে হিসাব করো। বরফ তলদ্বয়ের ভিতর ঘর্ষণ গুণাঙ্ক = 0.03 এবং $L_f = 80 \text{ cal/g}$. [Ans. 0.875 g]

6. 50 kg ভরের একটি বিরাট বরফখণ্ড (উষ্ণতা = 0°C) অনুভূমিক তল বরাবর প্রাথমিক গতিবেগ 5.38 metre/s নিয়ে চলে 23.8 metre চলবার পর থির হল। বরফ ও তলের ভিতরকার ঘর্ষণের জন্য যে পরিমাণ বরফ গলবে তা নির্ণয় করো। বরফ গলনের লীনতাপ = 80 cal/g. [Ans. 2.15 kg]
7. 50 g ভরের একটি সিসা বুলেটের প্রাথমিক তাপমাত্রা 30°C ; একে 840 m/s গতিবেগে খাড়া উর্ধ্বে ছোড়া হল। বুলেট উৎক্ষেপ বিন্দুতে পৌঁছিয়ে 0°C উষ্ণতার একখণ্ড বরফের উপর পড়ল। সমস্ত শক্তি বরফ গলাতে ব্যয় হল মনে করে নিলে, কত বরফ গলবে? সিসার আঃ তাঃ = 0.02 ; বরফ গলনের লীনতাপ $L_f = 80 \text{ cal/g}$. [Ans. 52.87 g]
8. 2 kg ভরের একটি বস্তুকে একটি অনুভূমিক অমসৃণ তলের উপর নিয়ে 2 metre/s গতিবেগে টেনে নেওয়া হচ্ছে। বস্তু এবং তলের ভিতর ঘর্ষণ গুণাঙ্ক 0.2 হলে, 5s সময়ে কত তাপ উৎপন্ন হবে নির্ধারণ করো। $J = 4.2 \text{ joule/cal}$; $g = 9.8 \text{ m/s}^2$ [Ans. 9.33 cal.]
9. 1 kg ভরের হাতুড়ি 50 metre/s গতিবেগে 200 g ভরের একটি লোহার গোঁজাকে আঘাত করল। হাতুড়ির শক্তির অর্ধেক গোঁজাকে উত্তপ্ত করতে ব্যয়িত হলে, গোঁজার উষ্ণতা বৃদ্ধি কত হবে? লোহার আঃ তাঃ = 0.105. [Ans. 7.1°C (প্রায়)]
10. দুই মুখ বন্ধ একটি কাচ নলের দৈর্ঘ্য 1 metre ; তাতে 25 g সিসা-গুলি নিয়ে বাকি অংশ 1 litre জল দ্বারা ভর্তি করা হল। নলকে খাড়াভাবে ধরে হঠাৎ উল্টানো হল। এতে সিসা-গুলি নলের পুরো দৈর্ঘ্য বরাবর নীচে পড়ল। 1°C উষ্ণতাবৃদ্ধি করতে নলকে এরূপ ক'বার উল্টাতে হবে? কাচ কর্তৃক শোষিত তাপ অগ্রাহ্য করতে পারো। সিসার আঃ তাপ = 0.02 ; $J = 4.2 \text{ joule/cal}$. [Jt. Entrance 1981] [Ans. 17152.9 (প্রায়)]
11. কিছু পরিমাণ জলকে ঘরের তাপমাত্রা হতে উত্তপ্ত করে 80°C করবার জন্য 600 watt বৈদ্যুতিক হিটার ব্যবহার করা হল। আবার ঐ একই পরিমাণ জলকে একই সময়ে একই তাপমাত্রা বৃদ্ধির জন্য নলের মধ্যে স্টিম পার্টানো হল। এতে বয়লারে প্রতি মিনিটে 16 g জল বাষ্পীভূত হল। তাপের যান্ত্রিক তুল্যাঙ্কের মান নির্ধারণ করো। জলের বাষ্পীভবনের লীনতাপ $L_v = 515.7 \text{ cal/g}$. [Ans. $4.2 \times 10^7 \text{ erg/cal}$]
12. 10^6 dyne/cm^2 চাপ প্রদান করে কোনো গ্যাসের আয়তন 20 litre হতে 10 litre করা হল। এতে কত তাপ সৃষ্টি হল? [Jt. Entrance 1982] [Ans. $0.24 \times 10^3 \text{ cal}$]
13. কোনো গ্যাসের দুই আপেক্ষিক তাপের অনুপাত 1 : 4 এবং প্রমাণ চাপ ও তাপমাত্রায় ঘনত্ব 0.09 g/cm^3 ; গ্যাসের স্থির আয়তনে এবং স্থির চাপে আপেক্ষিক তাপ কত? প্রমাণ চাপ = $1.01 \times 10^6 \text{ dyne/cm}^2$. [Ans. $C_p = 3.43 \text{ cal/g K}$; $C_v = 2.4 \text{ cal/g K}$]
14. 0°C তাপমাত্রায় 1 মোল অক্সিজেন গ্যাসকে স্থির চাপে উত্তপ্ত করে আয়তন দ্বিগুণ করা হল। এতে কত তাপের প্রয়োজন হবে? স্থির চাপে অক্সিজেনের মোলার আঃ তাঃ = 7.03 cal/mol K . [Ans. 1919.2 cal]
15. প্রমাণ চাপ ও তাপমাত্রায় কোনো গ্যাসের আয়তন 22.4 litre/mole এবং প্রমাণ চাপ $1.01 \times 10^6 \text{ dyne/cm}^2$ হলে, মোলার গ্যাস ধ্রুবক R_0 -এর মান নির্ণয় করো এবং ঐ মানের সাহায্যে 10 g অক্সিজেনের (a) স্থির চাপে এবং (b) স্থির আয়তনে তাপমাত্রা 0°C হতে 10°C করতে যে তাপ লাগবে তার পার্থক্য নির্ণয় করো। অক্সিজেনের আপেক্ষিক আণবিক ভর = 32. [Ans. $R_0 = 8.3 \text{ joule/mol K}$; 6.32 cal (প্রায়)]
16. একটি তাপ-অন্তরক আবদ্ধ পায়ে এক গ্রাম-অণু অক্সিজেন গ্যাস রাখা আছে। পাত্রটিকে v_0 স্থির বেগে চালনা করে হঠাৎ গতিহীন করা হল। এতে গ্যাসের উষ্ণতা 1°C বৃদ্ধি পেল। v_0 এর মান নির্ণয় করো। বায়ুর বেলায় $\gamma = 1.41$ এবং মোলার গ্যাস-ধ্রুবক $R_0 = 8.31 \text{ joule/mol K}$. [Ans. 35.6 m/s]

[সংকেত : M ভরসম্পন্ন অণুর গতিশক্তি = $\frac{1}{2} M.v_0^2$; 1°C উষ্ণতাবৃদ্ধির জন্য গৃহীত তাপশক্তি = $C_v \times 1 = C_v$;

কিন্তু $C_p - C_v = R_0$ অথবা, $C_v = \frac{R_0}{\gamma - 1}$; এখন, গতিশক্তি = গৃহীত তাপশক্তি

$$\therefore \frac{1}{2} M.v_0^2 = C_v = \frac{R_0}{\gamma - 1} \quad \text{অথবা, } v_0 = \sqrt{\frac{2R_0}{M(\gamma - 1)}} = \sqrt{\frac{2 \times 8.31}{32(1.41 - 1) \times 10^{-3}}} = 35.6 \text{ m/s ; } M = 32 \text{ g} = 32 \times 10^{-3} \text{ kg}]$$

□ M.C.Q. প্রশ্নের উত্তর □

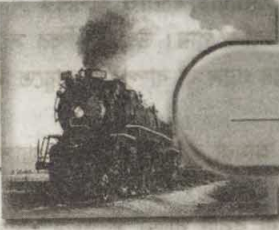
(A)

- | | | | | | |
|---------|----------|------------|---------|----------|---------|
| (i) C | (iv) A,B | (vii) C | (x) B | (xiii) B | (xvi) A |
| (ii) C | (v) D | (viii) A,D | (xi) C | (xiv) C | |
| (iii) C | (vi) B | (ix) A | (xii) A | (xv) A | |

(B) [i] নির্ভুল, [ii] ভুল, [iii] নির্ভুল, [iv] নির্ভুল, [v] ভুল, [vi] নির্ভুল।

(C) [i] 2R, [ii] সমোষ্ণ, [iii] খাড়া, [iv] 4.2, [v] 0.747°C, [vi] অপ্রত্যাবর্তক।

২
পরিচ্ছেদ



গ্যাসের গতি তত্ত্ব

[KINETIC THEORY OF GASES]

২.১. পদার্থের আণবিক গঠন (Molecular structure of matter):

পৃথিবীতে আমরা বহু রকম জিনিস দেখতে পাই। এদের মধ্যে কিছু কঠিন, কিছু তরল এবং কিছু গ্যাসীয়। এই সকল পদার্থের গঠন কীরূপ সেই সম্বন্ধে বহু প্রাচীনকাল থেকেই পণ্ডিতেরা চিন্তা-ভাবনা করে আসছেন। বর্তমানে আমরা জানি যে পদার্থ বহু অণুর সমবায়ে গঠিত। কোনো পদার্থ খণ্ডকে ভাগ করতে করতে যখন এমন ক্ষুদ্রতম কণায় পৌঁছানো যায় যে আরও ভাগ করলে ঐ পদার্থের নির্দিষ্ট রাসায়নিক ধর্মাবলি অক্ষুণ্ণ থাকে না, তখন ঐ ক্ষুদ্র কণাকে ঐ পদার্থের অণু (molecule) বলা হয়। অণু হল কোনো মৌলিক বা যৌগিক পদার্থের ক্ষুদ্রতম কণা যা (ঐ পদার্থের ধর্মাবলি অক্ষুণ্ণ রেখে) স্বাধীনভাবে থাকতে পারে। একই পদার্থের অণুগুলি সব এক রকম; ভিন্ন ভিন্ন পদার্থের অণু ভিন্ন ভিন্ন রকম। প্রকৃতপক্ষে, যত বিভিন্ন রকমের বস্তু থাকবে তত বিভিন্ন রকমের অণু থাকবে। যেমন জলের সব অণুই একরকম কিন্তু জলের অণু তেলের অণু হতে ভিন্ন। লোহার সব অণুই একরকম কিন্তু লোহার অণু তামার অণু হতে ভিন্ন।

পদার্থের অণু অন্য অণুকে আকর্ষণ করে নিকটে রাখে আবার বিকর্ষণ করে নির্দিষ্ট দূরত্বে থাকতে বাধ্য করে। এই পারস্পরিক আকর্ষণ ও বিকর্ষণকে আন্তরাণবিক বল (intermolecular force) বলা হয়। কঠিন পদার্থের বেলায় এই আন্তরাণবিক বল প্রচণ্ড। তাই কঠিন পদার্থের অণুগুলি পরস্পরের সঙ্গে ঘন সম্মিলিত অবস্থায় থাকে এবং কঠিন পদার্থ নির্দিষ্ট আকার ও আয়তন পায়। তরলের ক্ষেত্রে ঐ বল অপেক্ষাকৃত কম। তাই, তরলের অণুগুলি অত ঘন সম্মিলিত হয় না এবং তরল এক স্থান হতে অন্য স্থানে প্রবাহিত হতে পারে। উক্ত প্রবাহী ধর্মের জন্য, তরলকে কোনো পাত্রে রাখলে তরল একটি আয়তন অধিকার করে বটে কিন্তু কোনো বিশেষ আকার পায় না—পাত্রের আকার ধারণ করে। গ্যাসের ক্ষেত্রে আন্তরাণবিক বল খুব কম। গ্যাসের অণুগুলি মোটামুটি স্বাধীনভাবে আবদ্ধ স্থানের মধ্যে বিচরণে সক্ষম। তাই, গ্যাসীয় পদার্থের নিজস্ব কোনো আকার বা আয়তন থাকে না। পদার্থের এই আণবিক গঠন দ্বারা কঠিন, তরল ও গ্যাসীয় পদার্থের বহু ভৌত ও রাসায়নিক ধর্মাবলির সুষ্ঠু ব্যাখ্যা সম্ভব হয়েছে।

● অনিয়মিত আণবিক গতির পক্ষে প্রমাণ (Evidences in favour of random molecular motion):

বহুবিশ ঘটনা যেমন, ব্যাপনতা (diffusion), আশ্রাষণ (osmosis), বাষ্পায়ন প্রভৃতি পর্যবেক্ষণের ফলে একথা জানা গেছে যে পদার্থের অণুগুলি সর্বদা সঞ্চারশীল। তবে, কঠিন পদার্থের অণুগুলি অপেক্ষা তরল পদার্থের অণুগুলি বেশি সঞ্চারশীল আবার তরল পদার্থের তুলনায় গ্যাসীয় পদার্থের অণুগুলির সঞ্চারশীলতা আরও বেশি।

(১) ব্যাপনতা এবং দ্রাব্যতা পদার্থের আণবিক গঠন এবং অণুর অবিন্যস্ত গতির সাক্ষ্য বহন করে। ঘরের একপ্রান্তে এক ফোঁটা সুগন্ধি তেল পড়লে ঐ গন্ধ মুহূর্তের মধ্যে ঘরের সর্বত্র ছড়িয়ে পড়ে। এক-

গ্লাস জলে কিছু চিনি ফেলে দাও। কিছুক্ষণের মধ্যে চিনির দানাগুলি অদৃশ্য হয়ে যাবে এবং জলের সর্বত্র মিশি স্বাদ ছড়িয়ে পড়বে। এথেকে বোঝা যায় অণুগুলি সতত দ্রুতবেগে সঞ্চারশীল এবং একস্থান থেকে অন্যস্থানে দ্রুতগতিতে বিচরণে সক্ষম।

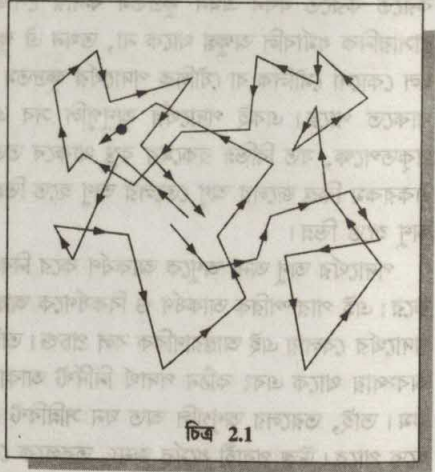
(2) বাষ্পায়ন (evaporation) এবং বাষ্পীভবন (vaporization) ঘটনাও আণবিক গতির সাথে সংশ্লিষ্ট। তরলকে উত্তপ্ত করলে, তরলের অণুগুলির গতিবেগ বৃদ্ধি পায়। উন্মত্ততা বৃদ্ধির সঙ্গে সঙ্গে গতিবেগ বৃদ্ধি এরূপ হয় যে এক সময়ে অণুগুলি তরল ত্যাগ করে গ্যাস বা বাষ্পরূপে বায়ুতে মিশে যায়। তখন বলা হয় যে তরল বাষ্পীভূত হয়েছে।

(3) গ্যাসের প্রসারণশীলতার নানাবিধ ঘটনা লক্ষ্য করেও আমরা বুঝতে পারি যে গ্যাস অণুগুলি পরস্পর হতে দূরে সরে যাবার প্রয়াস করে।

(4) প্রায় দেড়শত বৎসর পূর্বে একজন ইংরাজ উদ্ভিদবিজ্ঞানী রবার্ট ব্রাউন সর্বপ্রথম অণুগুলির এই নিরন্তর অবিন্যস্ত গতির ফলাফল প্রত্যক্ষভাবে পর্যবেক্ষণ করেন। তখন হতে এই গতিকে ‘ব্রাউনীয় গতি’ আখ্যা দেওয়া হয়।

2.2. ব্রাউনীয় গতি (Brownian motion):

যদিও পদার্থের অণু প্রত্যক্ষভাবে দৃশ্যমান নয় তথাপি এদের সংঘাতে অপেক্ষাকৃত বড় কোনো দৃশ্যমান কণিকার অবিন্যস্ত গতি অণুবীক্ষণ যন্ত্রের সাহায্যে দেখা যায়। 1827 সালে রবার্ট ব্রাউন এটাই লক্ষ্য করেছিলেন। কোনো তরলে বিলম্বিত (suspended) পরাগ রেণুর (pollen grains) মতো ক্ষুদ্র কণিকাকে শক্তিশালী অণুবীক্ষণ যন্ত্রের সাহায্যে লক্ষ্য করে তিনি দেখতে পান যে কণিকাগুলি নিরন্তর দ্রুতবেগে কিছু অনিয়মিতভাবে চলাফেরা করছে। কণিকাগুলি কখনও বা ঘুরপাক খাচ্ছে, কখনও বা উঠছে কখনও বা পড়ছে—এভাবে অনবরত যেন উদ্দাম নৃত্য করে যাচ্ছে। এই গতি চিরকালের জন্য অব্যাহত থাকে—হ্রাস পাবার বা বন্ধ হবার কোনো চিহ্ন দেখা যায় না। পদার্থের অণুগুলির এই অনিয়মিত (সম্পূর্ণ বিশৃঙ্খল) গতিকে ব্রাউনীয় গতি বলা হয়।



চিত্র 2.1

2.1 নং চিত্রে একটি কণিকার ব্রাউনীয় গতিপথ কীরূপ হতে পারে তা দেখানো হল।

বিভিন্ন বিজ্ঞানী এই অদ্ভুত গতি পর্যালোচনা করে যে সকল তথ্যাদি সংগ্রহ করেছেন, তাদের নিম্নলিখিতভাবে লিপিবদ্ধ করা যায় :

(i) এই গতি নিরবচ্ছিন্ন, চিরস্থায়ী এবং সম্পূর্ণরূপে অনিয়মিত ও এলোমেলো। সাধারণভাবে, কোনো দুটি কণার গতি একই রকম হতে দেখা যায় না—এমনকি এক অঞ্চলে অবস্থিত হলেও না।

(ii) পাত্রের নড়াচড়ার উপর এই গতি নির্ভরশীল নয়।

(iii) তরলের সান্দ্রতা যত কম হয়, গতি তত বৃদ্ধি পায়।

(iv) কণাগুলি যত ক্ষুদ্র হয়, তাদের গতি তত বৃদ্ধি পায়।

(v) একই তাপমাত্রায় একই সাইজের দুটি কণা একই বেগে গতিসম্পন্ন হয়।

(vi) তাপমাত্রা বৃদ্ধি পেলে গতি বৃদ্ধি পায়।

ব্যাখ্যা : প্রথমে মনে করা হয়েছিল, এই গতি তরলের পৃষ্ঠটান (surface tension), তাপমাত্রার

অনিয়মিত পরিবর্তন, রাসায়নিক বিক্রিয়া ইত্যাদির জন্য ঘটছে। কিন্তু এই সকল ব্যাখ্যা সম্পূর্ণ বার্থ প্রমাণিত হল এবং এই গতির কারণ বহু দিন যাবৎ অনির্ণীত রয়ে গেল। পরে বোঝা গেল যে অভ্যন্তরীণ তাপীয় উত্তেজনার ফলে তরলের অণুগুলি নিরন্তর বেগবান হয় এবং তার দ্রুতই কণার ঐরূপ গতি হয়— অর্থাৎ কণার গতি অণুর নিরন্তর গতির প্রকাশ।

বিলম্বিত বস্তুকণার সাইজ যত ছোটো হোক না কেন, তরলের অণু অপেক্ষা লক্ষ লক্ষ গুণ বড়। তাই অণু দৃশ্যমান না হলেও বস্তুকণা অণুবীক্ষণ যন্ত্রে দৃশ্যমান হবে। তাপীয় উত্তেজনায় নিরন্তর সঞ্চারশীল তরলের অণুগুলি এই বস্তুকণাকে চতুর্দিক হতে আঘাত করে। বস্তুকণা আকারে বড় হলে, মনে করা যেতে পারে যে, যে-কোনো মুহূর্তে সমসংখ্যক অণু চতুর্দিক হতে আঘাত করছে। ফলে, বস্তুর কোনো গতি সৃষ্টি হবে না—যেমন জলে ভাসমান কাঠের টুকরোর বা শেলার টুকরোর ঐরূপ কোনো গতি লক্ষিত হয় না। কিন্তু বস্তুকণা আকারে খুব ক্ষুদ্র হলে, আণবিক সংঘাতগুলি চতুর্দিক হতে সমানভাবে পড়বে না। তখন ঐ ক্ষুদ্র কণার উপর একটি অসম বল ক্রিয়া করে কণার গতি সৃষ্টি করবে। যেহেতু আণবিক সংঘাতগুলি কোনো নিয়মবদ্ধ নয়—এলোমেলো, সেইহেতু কণার উপর অসম বলও এলোমেলোভাবে ক্রিয়া করে এবং কণার অনিয়মিত ও বিশৃঙ্খল গতি সৃষ্টি করে। কণা যত ক্ষুদ্র হবে বলের পরিমাণও তত বাড়বে। ফলে, কণার গতি বৃদ্ধি পাবে এবং গতি বেশি অনিয়মিত হবে।

2.3.

গ্যাসের গতিয় তত্ত্বের মূল অঙ্গীকারসমূহ (Basic assumptions of kinetic theory of gases) :

ব্রাউনিয় গতি পর্যবেক্ষণ করে আমরা জানতে পারি যে পদার্থের অণু সর্বদা দ্রুত ও অবিন্যস্তভাবে সঞ্চারমান। এই ঘটনা পদার্থ—তথা গ্যাসের গতিয়তত্ত্বের ভিত্তি। ম্যাক্সওয়েল, বোল্জম্যান, ভ্যান-ডার-ওয়ালস প্রভৃতি বিজ্ঞানীদের চেষ্টায় এই তত্ত্ব সুপ্রতিষ্ঠিত হয় এবং গ্যাসের বিভিন্ন বৈশিষ্ট্য ও আচরণ সম্পূর্ণরূপে ব্যাখ্যা করতে সমর্থ হয়। গ্যাসের তাপমাত্রা, চাপ, শক্তি বা গ্যাসের সূত্রাবলি গতিয় তত্ত্বের সাহায্যে সম্ভাব্যজনকভাবে ব্যাখ্যা করা হয়েছে। গ্যাসের গতিয় তত্ত্ব কতকগুলি মূল অঙ্গীকারের উপর নির্ভরশীল। এই অঙ্গীকারগুলি নিম্নরূপ :

(i) সকল গ্যাসই অণুর দ্বারা গঠিত। একই গ্যাসের সকল অণুগুলি সদৃশ কিন্তু বিভিন্ন গ্যাসের অণুগুলি পরস্পর থেকে বিভিন্ন।

(ii) সকল অণুগুলিই বিন্দুভর (point mass) ; অণুগুলির পারস্পরিক দূরত্বের তুলনায় তাদের আকার নগণ্য।

(iii) অণুগুলি সতত গতিসম্পন্ন; তাদের গতিবেগ সর্বদিকে প্রসারিত এবং ঐ বেগ শূন্য হতে অসীম (infinite) পর্যন্ত বিস্তৃত।

(iv) স্থিতিাবস্থায় (steady state) অণুগুলি নিরন্তর পরস্পরের সাথে এবং পাত্রের দেওয়ালের সাথে ধাক্কা খায় এবং প্রতি দুটি ধাক্কার ভিতর অণুগুলির গতি সমবেগে সরলরেখা বরাবর হয়।

(v) যে সময় ব্যাপি একটি ধাক্কা সংঘটিত হয় তা মুক্তপথ অতিক্রম করার সময়ের তুলনায় অতি নগণ্য। অন্যভাবে বললে বলা যায় যে ধাক্কা সবই মুহূর্তমধ্যে সংঘটিত হয় বা ধাক্কাগুলি সবই তাৎক্ষণিক (instantaneous)।

(vi) অণুগুলি পরস্পরের প্রতি অথবা পাত্রের দেওয়ালের প্রতি কোনো অভিকর্ষীয় আকর্ষণ বা বিকর্ষণ বল প্রয়োগ করে না—অর্থাৎ গ্যাসের শক্তি সম্পূর্ণরূপে গতিশক্তি।

(vii) অণুগুলি সব আদর্শ স্থিতিস্থাপক গোলক। সূত্রাং তাদের সংঘর্ষে অণুগুলির গতিবেগ পরিবর্তিত হয় কিন্তু গতিশক্তি ও রৈখিক ভরবেগ সংরক্ষিত থাকে।

(viii) গ্যাসের অণুগুলি পরস্পরের সঙ্গে অনবরত ধাক্কা খেলেও স্থিতিাবস্থায় গ্যাসের আণবিক ঘনত্ব অর্থাৎ এক ঘন আয়তনে অণুর সংখ্যা অপরিবর্তিত থাকে।

এস্থলে উল্লেখযোগ্য যে, উপরিউক্ত অঙ্গীকারগুলি একমাত্র আদর্শ গ্যাসের বেলাতেই প্রযোজ্য।

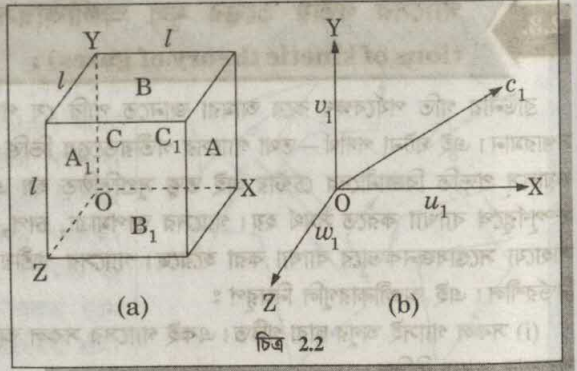
যে-সকল বাস্তব গ্যাসের সঙ্গে আমরা পরিচিত তাদের কোনোটিই উপরোক্ত অঙ্গীকারগুলি মেনে চলে না। তবে দেখা যায় যে একমাত্র হাইড্রোজেন গ্যাসেই উক্ত অঙ্গীকারগুলির অনেকাংশ প্রযুক্ত হয়। তাই হাইড্রোজেন গ্যাসকে মোটামুটি আদর্শ গ্যাস বলা যেতে পারে।

2.4. গতীয় তত্ত্ব অনুযায়ী আদর্শ গ্যাসের চাপ (Pressure of a perfect gas according to kinetic theory):

কোনো পাত্রে কিছু পরিমাণ গ্যাস রাখলে পাত্রের দেওয়ালে ঐ গ্যাস চাপ প্রয়োগ করে। গ্যাসের গতীয় তত্ত্ব অনুযায়ী এই চাপ গ্যাস-অণু কর্তৃক পাত্রের দেওয়ালের উপর অবিরত সংঘর্ষের (collision) ফল। গ্যাসের উন্মত্তা বৃদ্ধি করলে গ্যাস অণুগুলির গতি দ্রুততর হয়; ফলে চাপও বৃদ্ধি পায়। আবার, উন্মত্তা হ্রাস করলে গ্যাস-অণুগুলির গতি মন্থর হয়ে পড়ে; তখন চাপও হ্রাস পায়। নির্দিষ্ট আয়তনের পাত্রে আরও গ্যাস ঢেলে দেওয়ালে প্রতি সেকেন্ডে আঘাতকারী অণুর সংখ্যা বৃদ্ধি পায়; তাতে চাপও বৃদ্ধি পায়।

● চাপের রাশিমালা (Expression for the pressure):

ধরো, আমাদের ছয়তলবিশিষ্ট ঘনকাকৃতির একটি ফাঁপা পাত্র আছে—যার দেওয়ালগুলি সব পূর্ণস্থিতিস্থাপক এবং যে-কোনো পার্শ্বের দৈর্ঘ্য l ; ঐ পাত্রের ভিতর প্রচুর সংখ্যক গ্যাস-অণু আছে। ধরো ঐ অণুগুলির সংখ্যা হচ্ছে n ; ঐ অণুগুলির ভিতর থেকে যে-কোনো একটি অণুর কথা বিবেচনা করে যদি আমরা মনে করি যে-কোনো একটি দিকে ঐ অণুর গতিবেগ c_1 , তাহলে ঐ গতিবেগকে OX, OY এবং OZ অক্ষ বরাবর বিভাজন করে বলতে পারি যে, উক্ত বিভাজিত অংশগুলি যথাক্রমে u_1, v_1 এবং w_1 [চিত্র 2.2]। এক্ষেত্রে



চিত্র 2.2

অক্ষগুলিকে ঘনকের দৈর্ঘ্য, উচ্চতা ও প্রস্থের সমান্তরাল ধরা হয়েছে। ঐ অবস্থায় আমরা লিখতে পারি,

$$c_1^2 = u_1^2 + v_1^2 + w_1^2$$

এখন, A তলের অভিলম্ব দিকে—অর্থাৎ, OX বরাবর (2.2 চিত্রের ডানদিকে) গতির কথা চিন্তা করা যাক। অণু A -তলে u_1 গতিবেগে আঘাত করে একই বেগে পশ্চাদিকে প্রতিক্ষিপ্ত (rebound) হয়ে আসবে, কারণ আঘাতগুলি সবই স্থিতিস্থাপক বলে ধরা হয়। অণুর ভর m হলে প্রতি আঘাতে ভরবেগের পরিবর্তন $= mu_1 - (-mu_1) = 2mu_1$; অণুটি প্রতিক্ষিপ্ত হয়ে A -তল থেকে A_1 -তলের দিকে অগ্রসর হবে। A_1 -তলে আঘাত করে অণুটি আবার প্রতিক্ষিপ্ত হবে এবং A -তলে পৌঁছাবে। এতে অণুটি $2l$ দূরত্ব অতিক্রম করবে। এর জন্য অণুটির যে সময় লাগবে তা $\frac{2l}{u_1}$ সেকেন্ড। কাজেই দুটি পরপর ধাক্কার অন্তর্বর্তী সময় হবে $\frac{2l}{u_1}$ সেকেন্ড।

অতএব, প্রতি সেকেন্ডে যে কয়টি ধাক্কা সংঘটিত হবে তা $= \frac{u_1}{2l}$

প্রতি সেকেন্ডে ভরবেগের পরিবর্তন $= \frac{u_1}{2l} \times 2mu_1 = \frac{mu_1^2}{l}$

নিউটনের দ্বিতীয় গতিসূত্র হতে আমরা জানি যে ভরবেগ পরিবর্তনের হার প্রযুক্ত বলের সমান হয়।

A-তলে যদি প্রযুক্ত বল F_1 হয়, তবে, $F_1 = \frac{mu_1^2}{l}$

অনুরূপভাবে, আর একটি অণুর গতিবেগ ধর c_2 এবং এই গতিবেগের উপাংশ u_2, v_2, w_2 ।

যদি A-তলে এই অণু F_2 বল প্রয়োগ করে তবে, $F_2 = \frac{mu_2^2}{l}$ । এরূপে অন্যান্য অণুগুলিও A-তলে বল প্রয়োগ করে।

$$\therefore \text{A-তলে মোট প্রযুক্ত বল } F_x = F_1 + F_2 + F_3 + \dots$$

$$= \frac{mu_1^2}{l} + \frac{mu_2^2}{l} + \dots + \frac{mu_n^2}{l} = \frac{m}{l} (u_1^2 + u_2^2 + \dots + u_n^2)$$

$$\text{অতএব, A-তলে চাপ, } P_x = \frac{F_x}{\text{ক্ষেত্রফল}} = \frac{m}{l \times l^2} (u_1^2 + u_2^2 + \dots + u_n^2)$$

$$= \frac{m}{V} (u_1^2 + u_2^2 + \dots + u_n^2) \quad [\because V = l^3]$$

$$\text{একইভাবে, B-তলে অর্থাৎ, OY বরাবর চাপ, } P_y = \frac{m}{V} (v_1^2 + v_2^2 + \dots + v_n^2)$$

$$\text{এবং C-তলে অর্থাৎ, OZ বরাবর চাপ, } P_z = \frac{m}{V} (w_1^2 + w_2^2 + \dots + w_n^2)$$

যেহেতু স্থিতিাবস্থায় গ্যাস চতুর্দিকে সমান চাপ প্রয়োগ করে, সেইহেতু,

$$P_x = P_y = P_z = P \quad (\text{ধরো})$$

$$\therefore P = \frac{1}{3} (P_x + P_y + P_z)$$

$$= \frac{1}{3} \cdot \frac{m}{V} [(u_1^2 + u_2^2 + \dots + u_n^2) + (v_1^2 + v_2^2 + \dots + v_n^2) + (w_1^2 + w_2^2 + \dots + w_n^2)]$$

$$= \frac{1}{3} \cdot \frac{m}{V} [(u_1^2 + v_1^2 + w_1^2) + (u_2^2 + v_2^2 + w_2^2) \dots + (u_n^2 + v_n^2 + w_n^2)]$$

$$= \frac{1}{3} \cdot \frac{m}{V} (c_1^2 + c_2^2 + \dots + c_n^2)$$

$$= \frac{1}{3} \cdot \frac{mn}{V} \cdot c^2 \quad \text{এস্থলে } c^2 = \frac{c_1^2 + c_2^2 + \dots + c_n^2}{n}; c^2 \text{-কে বলা হয় অণুর গড় বর্গবেগ}$$

(mean square velocity)।

$$\text{এখন গ্যাসের মোট ভর } M = mn; \text{ ঘনত্ব } \rho \text{ হলে } \frac{M}{V} = \rho.$$

$$\text{কাজেই, } P = \frac{1}{3} \cdot \frac{M}{V} \cdot c^2 = \frac{1}{3} \cdot \rho c^2 \dots \dots \dots (i)$$

এটাই হল গতিয় তত্ত্বানুযায়ী গ্যাসের চাপের রাশিমালা।

উল্লেখযোগ্য যে, চাপের উপরিউক্ত রাশিমালা দ্বারা গ্যাসের আচরণ বিধি সংক্রান্ত বয়েল সূত্র, চার্লস সূত্র, আদর্শ গ্যাসের সমীকরণ, অ্যাভোগাড্রো প্রকল্প ইত্যাদি সব কিছু প্রমাণ করা যায় (পরবর্তী অনুচ্ছেদ দ্রষ্টব্য)

2.5.

(a) গ্যাস অণুর গড় বর্গ বেগের বর্গমূল (Root mean square speed or R.M.S. speed of gas molecules) :

পূর্ব অনুচ্ছেদে বলা হয়েছে যে c^2 -কে বলা হয় অণুর গড় বর্গবেগ। কাজেই c -কে বলা হবে অণুর গড় বর্গবেগের বর্গমূল, কারণ c^2 -এর বর্গমূল নিলে আমরা c পাই। একে c_{rms} রূপে লেখা হয়। সুতরাং বিভিন্ন অণুর গতিবেগের বর্গ নিয়ে তার গড় নির্ণয় করার পর গড় মানের বর্গমূল নিলে আমরা অণুর গড় বর্গবেগের বর্গমূল পাব। সংক্ষেপে একে বলা হয় আর. এম. এস্. (r.m.s.) গতিবেগ। গতীয় তত্ত্বানুযায়ী চাপের পূর্বোক্ত রাশিমালা প্রতিষ্ঠা করার সময় দেখা যায় যে গ্যাস অণুগুলির গড় গতিবেগ নিলে চলে না; আর. এম. এস্. গতিবেগ নিতে হয়। প্রকৃতপক্ষে গ্যাসের গতীয় তত্ত্বে অণুগুলির গড় গতিবেগের কোনো গুরুত্ব নেই; আর. এম. এস্. গতিবেগই গুরুত্বপূর্ণ। আর. এম. এস বা গড় বর্গ বেগের বর্গমূলকে কখনো-

কখনো বর্গমাধ্য মূল বা মূল গড় বর্গবেগও বলা হয়। অতএব, $c_{rms} = \sqrt{\frac{\sum c^2}{n}}$ অথবা, $c^2 = (c_{rms})^2$ । R.M.S. গতিবেগের (c_{rms}) পরিপ্রেক্ষিতে গ্যাসের চাপের রাশিমালা নিম্নলিখিতভাবে প্রকাশ করা যায়,

$$P = \frac{1}{3} \rho c_{rms}^2 \quad \text{অথবা, } c_{rms} = \sqrt{\frac{3P}{\rho}} = \sqrt{\frac{3PV}{M}}$$

● R.M.S. গতিবেগের ধারণা (Concept of r.m.s. speed) :

নিম্নলিখিত বিবরণ থেকে আর. এম. এস্. গতিবেগ সম্বন্ধে ধারণা স্পষ্ট হবে।

মনে করো, একটি পাত্রে n সংখ্যক অণু আছে এবং নির্দিষ্ট চাপ ও তাপমাত্রার তাদের বেগ $c_1, c_2, c_3, \dots, c_n$;

এই অবস্থায় অণুগুলির গড় বেগ \bar{c} হলে, $\bar{c} = \frac{c_1 + c_2 + c_3 + \dots + c_n}{n}$

অণুগুলির প্রত্যেকটির বেগের বর্গ নিয়ে তাদের গড় (c^2) নির্ণয় করলে, আমরা পাই,

$$c^2 = \frac{c_1^2 + c_2^2 + c_3^2 + \dots + c_n^2}{n}$$

এবার c^2 এর বর্গমূল নিলে, গড় বর্গবেগের বর্গমূল পাওয়া যাবে। গড় বর্গবেগের বর্গমূল যদি c_{rms} ধরা যায়, তবে

$$c_{rms} = \sqrt{c^2} = \sqrt{\frac{c_1^2 + c_2^2 + c_3^2 + \dots + c_n^2}{n}}$$

লক্ষ করার বিষয় যে \bar{c} এবং c_{rms} সমান না; অর্থাৎ গড় বেগ এবং গড় বর্গবেগের বর্গমূল সমান না।

মনে করো আমরা ৬টি অণুর গতিবেগ বিবেচনা করছি। তাদের গতিবেগ যথাক্রমে 1, 2, 3, 4, 5, 6 একক হলে তাদের গড় গতিবেগ $\bar{c} = \frac{1+2+3+4+5+6}{6} = \frac{21}{6} = 3.5$ একক।

তাদের বর্গ বেগের গড় $c^2 = \frac{(1)^2 + (2)^2 + (3)^2 + (4)^2 + (5)^2 + (6)^2}{6} = \frac{91}{6} = 15.2$ একক।

$$\therefore c_{rms} = \sqrt{c^2} = \sqrt{15.2} = 3.9 \text{ (প্রায়)}।$$

দেখা যাচ্ছে যে c এবং c_{rms} সমান নয়; সাধারণত আর. এম্. এস্. গতিবেগ গড় গতিবেগ অপেক্ষা কিছু বেশি হয়।

(b) সর্বাপেক্ষা সম্ভাব্য গতিবেগ (Most probable velocity) :

গ্যাসের গতিয় তত্ত্ব থেকে আমরা জানি যে কিছু পরিমাণ গ্যাসের ভিতর যে অসংখ্য অণু থাকে তাদের গতিবেগ সব সমান নয়। নির্দিষ্ট উষ্ণতায় সর্বাধিক সংখ্যক অণু যে বেগে গতিশীল থাকে সেই বেগকে সর্বাপেক্ষা সম্ভাব্য গতিবেগ বলে।

প্রমাণ করা যায় যে T পরম উষ্ণতায় সর্বাপেক্ষা সম্ভাব্য গতিবেগ $c_m = \sqrt{\frac{2RT}{M}}$; M = গ্যাসের আণবিক ভর। আবার, $c_{rms} = \sqrt{\frac{3P}{\rho}} = \sqrt{\frac{3 \cdot RT}{V \cdot \rho}} = \sqrt{\frac{3RT}{M}} \therefore \frac{c_m}{c_{rms}} = \sqrt{\frac{2}{3}}$ [$\because PV = RT$].

□ EXAMPLES □

1. হাইড্রোজেন অণুর ভর $3.32 \times 10^{-24} \text{ g}$; একটি দেওয়ালের প্রতি 2 cm^2 ক্ষেত্রফলে প্রতি সেকেন্ডে 10^{23} হাইড্রোজেন পরমাণু দেওয়ালের অভিলম্বের সাথে 45° কোণ করে 10^5 cm/s গতিবেগে আঘাত করছে। এতে দেওয়ালে কত চাপ পড়ছে?

উঃ। প্রতি হাইড্রোজেন অণুর ভরবেগ = $m \cdot v = 3.32 \times 10^{-24} \times 10^5 \text{ g cm/s}$; দেওয়ালে অণুগুলির আপগতন কোণ ও প্রতিফলন কোণ সমান ধরে নিলে প্রতিটি হাইড্রোজেন অণুর ভরবেগের পরিবর্তন = $2m \cdot v \cos \theta = 2 \times 3.32 \times 10^{-24} \times 10^5 \times \cos 45^\circ = 2 \times 3.32 \times 10^{-24} \times 10^5 \times \frac{1}{\sqrt{2}}$
 $= 4.7 \times 10^{-19} \text{ g. cm/s.}$

প্রতি সেকেন্ডে আপতিত 10^{23} অণুর মোট ভরবেগ পরিবর্তন = $10^{23} \times 4.7 \times 10^{-19} = 4.7 \times 10^4 \text{ g.cm/s}$

\therefore দেওয়ালে মোট চাপ = $\frac{\text{প্রতি সেকেন্ডে মোট ভরবেগের পরিবর্তন}}{\text{ক্ষেত্রফল}} = \frac{4.7 \times 10^4}{2} = 2.35 \times 10^4 \text{ dyne/cm}^2$.

2. প্রমাণ তাপমাত্রা এবং চাপে বায়ুর অণুগুলির গড় বর্গবেগের বর্গমূল নির্ণয় করো। বায়ুর ঘনত্ব = 0.00129 g/cm^3 .

উঃ। $P = \frac{1}{3} \rho \cdot c_{rms}^2$ অথবা, $c_{rms} = \sqrt{\frac{3P}{\rho}}$

এখানে, $P = 76 \times 13.6 \times 980 \text{ dyne/cm}^2$ (প্রমাণ চাপ) এবং $\rho = 0.00129 \text{ g/cm}^3$.

$$\therefore c_{rms} = \sqrt{\frac{3 \times 76 \times 13.6 \times 980}{0.00129}} = 4.85 \times 10^4 \text{ cm/s} = 485 \text{ m/s.}$$

2.6.

গতিয় তত্ত্বানুযায়ী কয়েকটি প্রয়োজনীয় ফলাফল (Some important results from kinetic theory) :

(i) এক গ্রাম-অণু (এক মোল) গ্যাসের গড় গতিশক্তি :

এক গ্রাম-অণু গ্যাসের কথা বিবেচনা করা যাক। ধরো, চাপ P এবং তাপমাত্রা T -তে গ্যাসের আয়তন

$$= V \text{ এবং ভর } = M_0; \text{ কাজেই তার ঘনত্ব } \rho = \frac{M_0}{V}.$$

2.4 অনুচ্ছেদ হতে পাই, $P = \frac{1}{3} \rho c_{rms}^2 = \frac{1}{3} \cdot \frac{M_0 c_{rms}^2}{V}$ অথবা, $P.V. = \frac{1}{3} M_0 c_{rms}^2$;

কিন্তু এক গ্রাম-অণু আদর্শ গ্যাসের বেলায় $P.V. = R_0 T$. $\therefore \frac{1}{3} M_0 c_{rms}^2 = R_0 T$

অথবা, $\frac{1}{2} M_0 c_{rms}^2 = \frac{3}{2} R_0 T$

কাজেই, T পরম উষ্ণতায় এক গ্রাম-অণু (এক মোল) গ্যাসের গড় গতিশক্তি $= \frac{3}{2} R_0 T$... (i)

(ii) প্রতি অণুর গড় গতিশক্তি : $N =$ অ্যাভোগাড্রো সংখ্যা হলে, প্রতি মোল গ্যাসে N সংখ্যক অণু

থাকে। অতএব, T উষ্ণতায় প্রতি অণুর গড় গতিশক্তি $E = \frac{\text{মোট গতিশক্তি}}{N} = \frac{3}{2} \cdot \frac{R_0}{N} T = \frac{3}{2} kT$... (ii)

$[k = \frac{R_0}{N} = \frac{8.31 \text{ J mol}^{-1} \text{ K}^{-1}}{6.023 \times 10^{23}} = 1.38 \times 10^{-23} \text{ J mol}^{-1} \text{ K}^{-1} = \text{ধ্রুবসংখ্যা; একে বলা হয়}$

বোল্জম্যান ধ্রুবসংখ্যা।]

(iii) তাপমাত্রার ধারণা (Concept of temperature) :

(ii) নং সমীকরণ হতে দেখা যায় প্রতি গ্যাস-অণুর গড় গতিশক্তি $E = \frac{3}{2} kT$; অর্থাৎ গতিশক্তি

গ্যাসের পরম তাপমাত্রা T -এর সমানুপাতিক। যেহেতু আদর্শ গ্যাসের অণুগুলির ভিতর কোনো পারস্পরিক আকর্ষণ নেই, সেইহেতু তাদের স্থিতিশক্তি শূন্য। তাদের কেবল গতিশক্তি আছে এবং তাপমাত্রা ঐ গতিশক্তি দ্বারা ই নিয়ন্ত্রিত হয়। গতিশক্তি বৃদ্ধি পেলে তাপমাত্রা বৃদ্ধি পাবে; আবার গতিশক্তি হ্রাস পেলে তাপমাত্রা হ্রাস পাবে। অন্যভাবে বললে দাঁড়ায় যে তাপমাত্রাই গ্যাস-অণুর গতিশক্তির পরিমাপ। গতীয় তত্ত্বানুযায়ী এটাই তাপমাত্রার ধারণা। যখন তাপমাত্রা শূন্য হয় তখন গ্যাস-অণুগুলির গতিশক্তিও শূন্য হয়—অর্থাৎ অণুগুলির গতি স্তব্ধ হয়। গতীয় তত্ত্ব অনুযায়ী এই তাপমাত্রাকেই আদর্শ গ্যাস স্কেলের পরম শূন্য (absolute zero) তাপমাত্রা ধরা হয়। অতএব, পরম শূন্য তাপমাত্রা এমনই এক তাপমাত্রা যে তাপমাত্রায় গ্যাস-অণুগুলির গতিবেগ শূন্য হয়। মনে রাখা দরকার যে উপরোক্ত গতি স্তব্ধতার কল্পনা একটি আদর্শ কল্পনা কারণ বাস্তব ক্ষেত্রে পরম শূন্য তাপমাত্রায় কোনো বস্তুই গ্যাসীয় অবস্থায় থাকবে না; আগেই তরলীভূত হবে।

(iv) গ্যাসের চাপের বিকল্প রূপ :

2.4 নং অনুচ্ছেদে বলা হয়েছে যে গ্যাসের চাপ $P = \frac{1}{3} \rho \cdot c_{rms}^2$ । যদি এক গ্রাম-অণু গ্যাসের ভর এবং

আয়তন যথাক্রমে M_0 এবং V হয়, তবে $P = \frac{1}{3} \frac{M_0 c_{rms}^2}{V}$

আবার, এক গ্রাম-অণু গ্যাসের মোট গতিশক্তি $E = \frac{1}{2} M_0 c_{rms}^2$

$\therefore P = \frac{2}{3} \times \frac{1}{2} \frac{M_0 c_{rms}^2}{V} = \frac{2}{3} \cdot \frac{E}{V}$

অতএব, গ্যাসের চাপ আয়তন প্রতি গতিশক্তির $2/3$ অংশ। এটাই গ্যাসের চাপের একটি বিকল্প রূপ।

□ EXAMPLE □

1. 100°C উষ্ণতায় কোনো আদর্শ গ্যাসের প্রতি অণুর গড় গতিশক্তি নির্ণয় করো।
বোল্জম্যান ধ্রুবসংখ্যা $k = 1.38 \times 10^{-23} \text{ J mol}^{-1}\text{K}^{-1}$.

উঃ। 2.6(ii) নং অনুচ্ছেদ হতে পাই যে আদর্শ গ্যাসের প্রতি অণুর গড় গতিশক্তি $E = \frac{3}{2} kT$.

এক্ষেত্রে, $k = 1.38 \times 10^{-23} \text{ joule/mol K}$ এবং $T = 100 + 273 = 373\text{K}$

$$\therefore E = \frac{3}{2} \times 1.38 \times 10^{-23} \times 373 = 772 \times 10^{-23} \text{ joule.}$$

2.7.

আর. এম. এস্. গতিবেগের পরিবর্তন (Variation of r.m.s. speed):

কোনো গ্যাসের এক গ্রাম-অণুর বেলায়, $\frac{1}{3} M_0 c_{rms}^2 = R_0 T$ অথবা, $c_{rms}^2 = \frac{3R_0 T}{M_0}$

$$\text{অথবা, } c_{rms} = \sqrt{\frac{3R_0 T}{M_0}}$$

এথেকে বলা যায় যে (i) $c_{rms} \propto \sqrt{T}$ অর্থাৎ কোনো গ্যাস অণুর আর. এম্. এস্. গতিবেগ ঐ গ্যাসের পরম উষ্ণতার বর্গমূলের সমানুপাতিক। গ্যাসের পরম উষ্ণতা বৃদ্ধি পেলে, গ্যাস-অণুর আর. এম্. এস্. গতিবেগ বৃদ্ধি পাবে; উষ্ণতা হ্রাসে গতিবেগও হ্রাস পাবে। (ii) একই উষ্ণতায় বিভিন্ন গ্যাসের অণুর

আর. এম্. এস্. গতিবেগ গ্যাসগুলির আণবিক ভরের বর্গমূলের ব্যস্তানুপাতিক; $c_{rms} \propto \frac{1}{\sqrt{M_0}}$;

অথবা, একই উষ্ণতায় ভারী গ্যাস-অণুর আর. এম্. এস্. গতিবেগ হালকা অণুর চাইতে কম হবে।

□ EXAMPLES □

1. 0°C উষ্ণতায় এবং 76 cm পারদের চাপ হাইড্রোজেন অণুর আর. এম্. এস্. গতিবেগ $1.84 \times 10^5 \text{ cm/s}$; চাপ অপরিবর্তিত রেখে উষ্ণতা 100°C করলে, হাইড্রোজেন অণুর আর. এম্. এস্. গতিবেগ কী হবে?

$$\text{উঃ। আর. এম্. এস্. গতিবেগ } c_{rms} \propto \sqrt{T} \therefore \frac{(c_0)_{rms}}{(c_{100})_{rms}} = \sqrt{\frac{T_0}{T_{100}}}$$

এখন, $T_0 = 0 + 273 = 273 \text{ K}$ এবং $T_{100} = 100 + 273 = 373 \text{ K}$

$$\text{অতএব, } \frac{(c_0)_{rms}}{(c_{100})_{rms}} = \sqrt{\frac{273}{373}} \therefore (c_{100})_{rms} = (c_0) \sqrt{\frac{373}{273}} = 1.84 \times 10^5 \sqrt{\frac{373}{273}} \\ = 2.16 \times 10^5 \text{ cm/s.}$$

2. আদর্শ গ্যাসের ভিতর শব্দের গতিবেগ গ্যাস-অণুর আর. এম্. এস্. গতিবেগের সমান ধরে প্রমাণ করো, স্থির তাপমাত্রায় $u_1/u_2 = \sqrt{M_2/M_1}$; u_1 হল M_1 আণবিক ভরযুক্ত গ্যাসে শব্দের গতিবেগ এবং u_2 হল M_2 আণবিক ভরযুক্ত গ্যাসে শব্দের গতিবেগ।

উঃ। 2.7 অনুচ্ছেদে আমরা দেখেছি, আদর্শ গ্যাস-অণুর আর. এম্. এস্. গতিবেগ

$$c_{rms} = \sqrt{\frac{3R_0T}{M_0}}$$

[R_0 = মোলার গ্যাস-ধ্রুবক এবং M_0 = গ্যাসের আণবিক ভর]। যেহেতু গ্যাস-মাধ্যমে শব্দের গতিবেগ গ্যাস-অণুর আর. এম্. এস্. গতিবেগের সমান ধরা হয়েছে সেইহেতু, লেখা যায়, গ্যাসে শব্দের গতিবেগ

$$v = \sqrt{\frac{3R_0T}{M_0}};$$

এখন, প্রথম গ্যাসের বেলায় $v_1 = \sqrt{\frac{3R_0T}{M_1}}$ এবং দ্বিতীয় গ্যাসের বেলায় $v_2 = \sqrt{\frac{3R_0T}{M_2}}$
[R_0 এবং T উভয় ক্ষেত্রেই সমান।]

$$\therefore v_1/v_2 = \sqrt{M_2/M_1}.$$

৩. কোনো গ্রহের ঘনত্ব $5.5 \times 10^3 \text{ kgm}^{-3}$ এবং উষ্ণতা 27°C ; এই গ্রহের ন্যূনতম ব্যাসার্ধ কত হলে, ঐ গ্রহের অক্সিজেন গ্যাসকে গ্রহের বায়ুমণ্ডলের মধ্যে ধরে রাখা সম্ভব? $R_0 = 8.3 \text{ J mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$; $M_{oxy} = 32 \times 10^{-3} \text{ kg mol}^{-1}$; $G = 6.67 \times 10^{-11} \text{ S.I.}$

উঃ। কোনো গ্রহের ব্যাসার্ধ R এবং ঘনত্ব ρ হলে, ঐ গ্রহের বেলায় মুক্তিবেগ $v_e = \sqrt{\frac{8}{3} G \pi \rho R^2}$ *

এখন, $T \text{ K}$ উষ্ণতায় অক্সিজেন অণুর আর. এম্. এস্. গতিবেগ $c_{rms} = \sqrt{\frac{3R_0T}{M_{oxy}}}$.

$$\begin{aligned} \therefore \sqrt{\frac{8}{3} G \pi \rho R^2} &= \sqrt{\frac{3R_0T}{M_{oxy}}} \text{ অথবা, } R = \sqrt{\frac{9R_0T}{8G\pi\rho M_{oxy}}} = \frac{3}{2} \sqrt{\frac{R_0T}{2G\pi\rho M_{oxy}}} \\ &= \frac{3}{2} \sqrt{\frac{8.3 \times 300}{2 \times (6.67 \times 10^{-11}) \times 3.14 \times (5.5 \times 10^3) \times (32 \times 10^{-3})}} = 2.76 \times 10^5 \text{ m.} \end{aligned}$$

2.8.

গ্যাসের গতিয় তত্ত্ব থেকে বিভিন্ন গ্যাসসূত্রের প্রমাণ (Proof of different gas laws from the kinetic theory of gases) :

(ক) বয়েল সূত্র : গ্যাসের গতিয় তত্ত্ব অনুযায়ী, চাপ $P = \frac{1}{3} \rho c_{rms}^2$

ধরো, ছয়তলবিশিষ্ট একটি ঘনাকৃতির পাত্রে রাখা গ্যাসে n সংখ্যক অণু আছে। প্রত্যেকটি অণুর

ভর m হলে, $\rho = \frac{mn}{V}$ [V = পাত্রের আয়তন]।

অতএব, $P = \frac{1}{3} \cdot \frac{mnc_{rms}^2}{V}$ অথবা, $P.V. = \frac{1}{3} m.n.c_{rms}^2 = \frac{1}{3} Mc_{rms}^2$ [$M = mn$ = নির্দিষ্ট পরিমাণে

* মুক্তিবেগ $v_e = \sqrt{2gR}$ [মহাকর্ষ পরিচ্ছেদে দ্রষ্টব্য।]

আবার, $g = \frac{GM}{R^2} = G \frac{4}{3} \frac{\pi R^3 \rho}{R^2} = \frac{4}{3} g \pi R \rho$ [M = পৃথিবীর ভর] $\therefore v_e = \sqrt{2 \cdot \frac{4}{3} G \pi R^2 \rho}$.

গ্যাসের ভর]

গ্যাসের গতিয় তত্ত্ব অনুযায়ী $c_{rms}^2 \propto T$ অতএব $P.V. \propto T$; যখন T ধ্রুবক তখন $P.V. =$ ধ্রুবক। কাজেই নির্দিষ্ট ভরের (M) গ্যাসের বেলায়, তাপমাত্রা স্থির থাকলে $P.V. =$ ধ্রুবক। এটাই বয়েল সূত্র।

(খ) চার্লস সূত্র : গ্যাসের গতিয় তত্ত্ব হতে পাই, $P = \frac{1}{3} \frac{M c_{rms}^2}{V}$ অথবা, $V = \frac{1}{3} \frac{M}{P} \cdot c_{rms}^2$

$c_{rms}^2 \propto T$ এবং M ও P অপরিবর্তিত থাকলে, $V \propto T$ অর্থাৎ নির্দিষ্ট ভরের গ্যাসের আয়তন গ্যাসের পরম উষ্ণতার সমানুপাতিক হয় যখন গ্যাসের চাপ অপরিবর্তিত থাকে। এটাই চার্লস সূত্র।

(গ) রেনোর চাপের সূত্র (Regnault's pressure law) :

গ্যাসের গতিয় তত্ত্বানুযায়ী, $P = \frac{1}{3} \frac{M}{V} c_{rms}^2$

আয়তন অপরিবর্তিত থাকলে এবং নির্দিষ্ট ভরের গ্যাসের বেলায় $P \propto c_{rms}^2$ অথবা $P \propto T$ অর্থাৎ নির্দিষ্ট ভরের গ্যাসের চাপ (P) তার পরম উষ্ণতার (T) সমানুপাতিক যখন গ্যাসের আয়তন অপরিবর্তিত থাকে। একেই রেনোর চাপ সূত্র বলে।

(ঘ) অ্যাভোগাড্রো প্রকল্প : ধরো, আমরা সম-আয়তনের দুটি বিভিন্ন গ্যাস নিলাম যাদের তাপমাত্রা ও চাপ যথাক্রমে T এবং P ; যদি গ্যাস দুটির সম-আয়তনে অণুর সংখ্যা যথাক্রমে n_1 এবং n_2 হয় এবং প্রতি অণুর ভর যথাক্রমে m_1 এবং m_2 হয় তবে গতিয় তত্ত্ব হতে লেখা যায়

$$P = \frac{1}{3} \frac{m_1 n_1 c_1^2}{V} = \frac{1}{3} \frac{m_2 n_2 c_2^2}{V} \dots \dots (i)$$

[c_1 এবং c_2 গ্যাস দুটির অণুর আর. এম্. এস্. গতিবেগ]

আবার, যেহেতু গ্যাস দুটির তাপমাত্রা সমান সেইহেতু প্রতি অণুর গড় গতিশক্তি সমান।

$$\text{অর্থাৎ, } \frac{1}{2} m_1 c_1^2 = \frac{1}{2} m_2 c_2^2 \dots \dots (ii)$$

(i) এবং (ii) সমীকরণ হতে পাই, $n_1 = n_2$

এভাবে যে-কোনো আয়তন নিয়ে এবং যে-কোনো সংখ্যক গ্যাস নিয়ে প্রমাণ করা যায় যে, তাপমাত্রা ও চাপ সমান থাকলে, সম-আয়তনের বিভিন্ন গ্যাসে সম-সংখ্যক অণু থাকবে। এটাই অ্যাভোগাড্রো প্রকল্প।

(ঙ) আদর্শ গ্যাসের সমীকরণ (Ideal gas equation)

2.6 অনুচ্ছেদে আমরা দেখেছি যে T উষ্ণতায় একটি আদর্শ গ্যাসের একটি অণুর গড় গতিশক্তি =

$$\frac{3}{2} \left(\frac{R_0}{N} \right) T; \text{ তাহলে এক মোল অণুর গড় গতিশক্তি} = \frac{3}{2} \left(\frac{R_0}{N} \right) T \times N = \frac{3}{2} \cdot R_0 T \dots (i)$$

আবার, এক মোল অণুর গড় গতিশক্তি $= \frac{1}{2} M_0 c_{rms}^2$ [$M_0 =$ এক মোল গ্যাসের ভর]

$$\text{কিন্তু } c_{rms}^2 = \frac{3P}{\rho} = \frac{3P}{M_0} \cdot V \quad [V = \text{মোলার আয়তন}]$$

$$\therefore \text{ এক মোল অণুর গড় গতিশক্তি} = \frac{1}{2} M_0 \times \frac{3PV}{M_0} = \frac{3}{2} PV.$$

$$\text{অতএব (1) নং সমীকরণ থেকে পাই } \frac{3}{2} PV = \frac{3}{2} R_0 T. \text{ অথবা, } PV = R_0 T.$$

এটাই আদর্শ গ্যাসের সমীকরণ।

*2.9. স্বাধীনতার মাত্রা (Degrees of freedom) :

কোন বস্তু স্বাধীনভাবে বা অবশ্যে যে কয়প্রকার গতির অধিকারী হতে পারে সেই সংখ্যাকে ওই বস্তুর গতির স্বাধীনতার মাত্রা বলা হয়। কয়েকটি দৃষ্টান্ত নিলে এটা পরিষ্কার বোঝা যাবে।

একটি বিন্দু কণা যদি কোন বিশেষ রেখা বরাবর গতিসম্পন্ন হয়, তবে তার গতির স্বাধীনতার মাত্রা মাত্র একটি, কারণ ওই বিশেষ রেখা ছাড়া অন্য কোনো দিকে কণার গতি নেই। যদি কণা একটি নির্দিষ্ট সমতলে গতিসম্পন্ন হয় তবে তার স্বাধীনতার মাত্রা দুই, কারণ, তার গতিকে আমরা ওই সমতলের উপর অঙ্কিত দুটি অক্ষের সাহায্যে প্রকাশ করতে পারি। অনুরূপভাবে কণা ত্রিমাত্রিক দেশ (three-dimensional space)-এ গতিযুক্ত হলে, তার গতির স্বাধীনতার মাত্রা তিন। বিন্দু কণার কেবলমাত্র রৈখিক গতি থাকলে এই ধরনের স্বাধীনতার মাত্রাকে বলা হয় **রৈখিক গতির স্বাধীনতার মাত্রা** (degrees of freedom of translational motion)।

কোনো দৃঢ় বস্তু তিনটি স্বতন্ত্র অক্ষের চতুর্দিকে আবর্তনে সক্ষম হলে, তার দরুনও ওই বস্তুর স্বাধীনতার মাত্রা হবে তিন এবং তাদের বলা হবে **আবর্ত গতির স্বাধীনতার মাত্রা** (degrees of freedom of rotational motion)। বলা বাহুল্য কোনো দৃঢ় বস্তুর একই সঙ্গে তিনটি রৈখিক গতির স্বাধীনতার মাত্রা এবং তিনটি আবর্ত গতির স্বাধীনতার মাত্রা—মোট ছয়টি মাত্রা থাকতে পারে কারণ দৃঢ় বস্তুর এক সঙ্গে রৈখিক ও আবর্ত গতি সম্ভব।

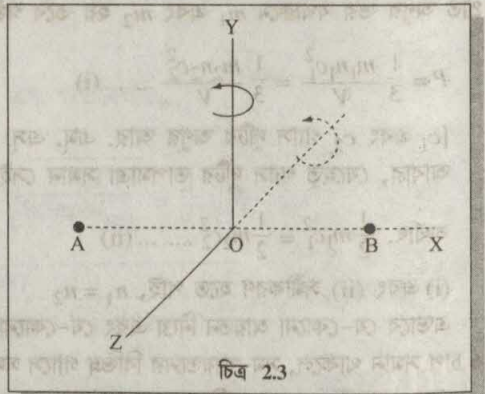
দুইটি বিন্দু কণা A এবং B কিছু দূরে থেকে যদি পরস্পরের সাথে দৃঢ়ভাবে আবদ্ধ থাকে [চিত্র 2.3] তবে তাদের X, Y, Z অক্ষ বরাবর রৈখিক গতির দরুন স্বাধীনতার মাত্রা হবে তিন কিন্তু তাদের আবর্তন গতি সম্ভব শুধু Y এবং Z -অক্ষের চতুর্দিকে ; ফলে আবর্ত গতির দরুন স্বাধীনতার মাত্রা দুই ; অথবা তাদের মোট স্বাধীনতার মাত্রা পাঁচ।

ত্রিমাত্রিক দেশে অবস্থিত দুটি বিন্দুর অবস্থান সম্পূর্ণরূপে প্রকাশ করতে মোট ছয়টি স্থানাঙ্কের (co-ordinates) প্রয়োজন হয়, এটা আমরা জানি। কিন্তু ওই দুটি বিন্দুর ভিতর কোনো নির্দিষ্ট সম্পর্ক বজায় থাকলে, স্থানাঙ্কের সংখ্যা এক কমে যায়, অথবা ওই সংস্থার স্বাধীনতার মাত্রা দাঁড়ায় পাঁচ।

এথেকে আমরা স্বাধীনতার মাত্রা নির্ণয়ের একটি সাধারণ সূত্র পেতে পারি। সূত্রটি নিম্নলিখিতরূপে বিবৃত করা যায় :

কোনো সংস্থার (system) উপাদানগুলির (elements) অবস্থান সম্পূর্ণরূপে প্রকাশ করার জন্য প্রয়োজনীয় স্থানাঙ্কের মোট সংখ্যা থেকে ওই উপাদানগুলির মধ্যে স্বতন্ত্রভাবে বর্তমান সম্পর্কগুলির সংখ্যা বিয়োগ করলে স্বাধীনতার মাত্রা সংখ্যা পাওয়া যায় (The number of degrees of freedom is equal to the total number of co-ordinates required to define the positions of the elements of the system minus the number of independent relations existing between them)।

যেমন, কোনো গ্যাসের অণুতে n -সংখ্যক পরমাণু থাকলে, তার স্বাধীনতার মাত্রা $3n$ -এর বেশি হতে পারে না। এক পরমাণুক গ্যাসের ক্ষেত্রে $n=1$, কাজেই তার স্বাধীনতার মাত্রা সংখ্যা 3 ; দ্বি-পরমাণুক গ্যাসের ক্ষেত্রে $n=2$ । তারা পরস্পর নির্দিষ্ট দূরত্বে দৃঢ়ভাবে আবদ্ধ বলে, তাদের স্বাধীনতার মাত্রা সংখ্যা $= (3 \times 2 - 1) = 5$; ত্রি-পরমাণুক গ্যাসের বেলাতে আমরা পরমাণুগুলির দুই রকম বিন্যাস পেতে পারি। এক, একটি কেন্দ্রীয় পরমাণু এবং উভয় পার্শ্বে অবস্থিত অন্য দুটি পরমাণু (ডায়েল আকৃতি) এবং দুই,



ত্রিভুজের তিন কোণায় তিনটি পরমাণু। প্রথম ক্ষেত্রে স্বাধীনতার মাত্রা সংখ্যা = 7 এবং দ্বিতীয় ক্ষেত্রে = $(3 \times 3 - 3) = 6$; এইরূপে অন্যান্য বহুপরমাণুক গ্যাসেরও স্বাধীনতার মাত্রা নির্ণয় করা যায়।

যখন পরমাণুগুলি অণুর কম্পনে (vibration) অংশ গ্রহণ করে তখন কম্পনজনিত স্বাধীনতার মাত্রা (vibrational degrees of freedom) নামক অতিরিক্ত মাত্রা বিবেচনা করা প্রয়োজন হয়।

2.10. শক্তির সমবিভাজন নীতি (Principle of equi-partition of energy) :

গ্যাসের গতিয়তত্ত্ব অনুযায়ী ধরে নেওয়া হয় যে কোনো অণুর ক্ষেত্রে তিনটি ইচ্ছামত অক্ষ বরাবর উপাংশ-গতিবেগের গড় বর্গ মান সমান অর্থাৎ, $\bar{u}^2 = \bar{v}^2 = \bar{w}^2$ [এক্ষেত্রে \bar{u} , \bar{v} এবং \bar{w} অণুর উপাংশ গতিবেগের গড় মান]। সুতরাং, আনুষঙ্গিক গতিশক্তিও সমান অর্থাৎ, $\frac{1}{2}m\bar{u}^2 = \frac{1}{2}m\bar{v}^2 = \frac{1}{2}m\bar{w}^2$.

কিন্তু আমরা জানি, $c^2 = \bar{u}^2 + \bar{v}^2 + \bar{w}^2$; কাজেই

$$\frac{1}{2}m\bar{u}^2 = \frac{1}{2}m\bar{v}^2 = \frac{1}{2}m\bar{w}^2 = \frac{1}{3}\left(\frac{1}{2}mc^2\right)$$

আবার, 2.5 অনুচ্ছেদে আমরা দেখেছি, প্রতি অণুর গড় শক্তি = $\frac{1}{2}mc^2 = \frac{3}{2}KT$ [k = বোলজম্যান ধ্রুবরাশি]

$$\therefore \frac{1}{2}m\bar{u}^2 = \frac{1}{2}m\bar{v}^2 = \frac{1}{2}m\bar{w}^2 = \frac{1}{3}\left(\frac{3}{2}kT\right) = \frac{1}{2}kT.$$

এক পরমাণুক অণুর স্বাধীনতার সংখ্যা = 3; উক্ত তিনটি উপাংশ তিনটি অক্ষের সাপেক্ষে ধরা হয়েছে। সুতরাং, তারা স্বাধীনতার মাত্রাসংখ্যা বোঝায়।

কাজেই বলা যেতে পারে যে, প্রত্যেক এক পরমাণুক অণুর স্বাধীনতার মাত্রা পিছু গড় গতিশক্তি = $\frac{1}{2}KT$.

এই তথ্য যে-কোনো সংখ্যা স্বাধীনতার মাত্রার বেলাতেও প্রযোজ্য। একেই বিভিন্ন স্বাধীনতার মাত্রা বরাবর শক্তির বিভাজন নীতি বলা হয়। এই নীতি অনুযায়ী আমরা বলতে পারি যে তাপীয় সাম্যো (thermal equilibrium) অবস্থিত কোনো গতিয় সংস্থার (dynamical system) বেলায় মোট শক্তি স্বাধীনতার বিভিন্ন মাত্রা বরাবর সমভাবে বিভাজিত হয় এবং প্রত্যেক অণুর স্বাধীনতার মাত্রা পিছু গড় গতিশক্তির পরিমাণ = $\frac{1}{2}KT$.

□ EXAMPLES □

1. একটি এক লিটার ফ্লাস্কে 10^{25} অক্সিজেন অণু আছে। প্রতিটি অণুর ভর 2.7×10^{-28} kg এবং গড় বর্গবেগের বর্গমূল মান 4×10^2 m/s হলে ফ্লাস্কের চাপ কত হবে? গ্যাসের মোট গতিশক্তি কত?

উঃ। চাপ $P = \frac{1}{3} \frac{mnc_{rms}^2}{V}$; এখানে $m = 2.7 \times 10^{-28}$ kg; $n = 10^{25}$; $c_{rms} = 4 \times 10^2$ m/s এবং $V = 1 \text{ litre} = 10^{-3} \text{ m}^3$

$$\therefore P = \frac{1}{3} \times \frac{2.7 \times 10^{-28} \times 10^{25} \times (4 \times 10^2)^2}{10^{-3}} = 14.4 \times 10^4 \text{ N/m}^2.$$

$$\text{প্রতিটির অণুর গতিশক্তি} = \frac{1}{2} mc_{rms}^2 = \frac{1}{2} \times 2.7 \times 10^{-28} \times (4 \times 10^2)^2 = 2.16 \times 10^{-23} \text{ joule}$$

$$\text{অতএব, গ্যাসের মোট গতিশক্তি} = 10^{25} \times 10^{-23} \times 2.16 = 2.16 \times 10^2 \text{ joule.}$$

২. মোলার গ্যাস-ধ্রুবক R_0 -এর মান $8.31 \times 10^7 \text{ erg/mol K}$ হলে, 0°C তাপমাত্রায় কার্বন ডাইঅক্সাইড অণুর গড় বর্গবেগের বর্গমূল মান কী হবে? কার্বন ডাইঅক্সাইডের আণবিক ভর = 44.

$$\text{উঃ। } c_{rms} = \sqrt{\frac{3P}{\rho}}; \text{ আবার আদর্শ গ্যাসের ক্ষেত্রে } PV = R_0 T$$

$$\therefore c_{rms} = \sqrt{\frac{3R_0 T}{V \cdot \rho}} = \sqrt{\frac{3R_0 T}{M_0}} \quad [M_0 = \text{এক গ্রাম-অণু গ্যাসের ভর}]$$

$$\text{এক্ষেত্রে, } R_0 = 8.31 \times 10^7 \text{ erg; } T = 273 + 0 = 273 \text{ K; } M_0 = 44 \text{ g.}$$

$$\therefore c_{rms} = \sqrt{\frac{3 \times 8.31 \times 10^7 \times 273}{44}} = 3.93 \times 10^4 \text{ cm/s (প্রায়)।}$$

৩. স্বাভাবিক চাপ ও তাপমাত্রায় হাইড্রোজেন অণুর গড় বর্গবেগের বর্গমূল 1.84 km/s হলে অক্সিজেন অণুর কত হবে? হাইড্রোজেন ও অক্সিজেনের আণবিক ভর 2 এবং 32।

$$\text{উঃ। } \frac{1}{2} mc_{rms}^2 = \frac{3}{2} kT. \text{ অথবা, } mc_{rms}^2 = 3kT = \text{ধ্রুবক}; \therefore c_h^2 \cdot m_h = c_0^2 \cdot m_0$$

$$\text{এখন, } m_h = 2; m_0 = 32; c_h = 1.84 \text{ km/s.}; c_0 = ?$$

$$\therefore c_0 = \sqrt{\frac{c_h^2 m_h}{m_0}} = c_h \sqrt{\frac{m_h}{m_0}} = 1.84 \times \sqrt{\frac{2}{32}} = 1.84 \times \frac{1}{4} = 0.46 \text{ km/s.}$$

৪. কোন তাপমাত্রায় নাইট্রোজেন অণুর গড় বর্গবেগের বর্গমূল মান স্বাভাবিক চাপ ও তাপমাত্রার মান অপেক্ষা দ্বিগুণ হবে? চাপ অপরিবর্তিত আছে ধরে নাও।

$$\text{উঃ। } c_{rms} = \sqrt{\frac{3P}{\rho}}; \text{ আদর্শ গ্যাসের বেলায়, } PV = R_0 T \text{ অথবা, } P = \frac{R_0 T}{V}$$

$$\therefore c_{rms} = \sqrt{\frac{3R_0 T}{V \cdot \rho}} = \sqrt{\frac{3R_0 T}{M_0}} \quad [M_0 = \text{এক গ্রাম-অণু গ্যাসের ভর}]$$

অর্থাৎ, $c_{rms} \propto \sqrt{T}$; এখন স্বাভাবিক তাপমাত্রায় ($T_0 \text{ K}$), গড় বর্গবেগের বর্গমূল মান c_{rms} হলে, প্রপ্যনুযায়ী নির্ণেয় তাপমাত্রা (ধর, $T \text{ K}$) হবে $2c_{rms}$

$$\text{অর্থাৎ, } \frac{2c_{rms}}{c_{rms}} = \sqrt{\frac{T}{T_0}} \text{ বা, } 4 = \frac{T}{T_0} \therefore T = 4T_0 = 4 \times 273 = 1092 \text{ K.}$$

$$\text{সেলসিয়াস স্কেলে, নির্ণেয় তাপমাত্রা } t = 1092 - 273 = 819^\circ\text{C.}$$

5. 1092 K উষ্ণতায় কার্বন ডাইঅক্সাইড গ্যাস অণুর আর. এম. এস. গতিবেগ নির্ণয় করো। প্রমাণ চাপ ও উষ্ণতায় কার্বন ডাইঅক্সাইড গ্যাসের ঘনত্ব = 1.997 kg/m³.

উঃ। প্রথমে প্রমাণ চাপ (0.76 m পারদ) ও উষ্ণতায় CO₂ গ্যাস অণুর আর. এম. এস. গতিবেগ নির্ণয় করতে হবে।

$$\text{এখানে } P_0 = 0.76 \text{ m পারদ} = 1.01 \times 10^5 \text{ N/m}^2; \rho_0 = 1.997 \text{ kg/m}^3.$$

$$\therefore (c_0)_{rms} = \sqrt{\frac{3P_0}{\rho_0}} = \sqrt{\frac{3 \times 1.01 \times 10^5}{1.997}} = 3.8915 \times 10^2 \text{ m/s}.$$

আমরা জানি, $c_{rms} \propto \sqrt{T}$

$$\therefore \frac{(c_0)_{rms}}{c_{rms}} = \sqrt{\frac{273}{1092}} \therefore c_{rms} = c_0 \sqrt{\frac{1092}{273}} = (2c_0)_{rms}$$

$$\therefore c_{rms} = 2 \times 3.8915 \times 10^2 = 7.719 \times 10^2 \text{ m/s}.$$

6. 27°C তাপমাত্রায় হিলিয়াম গ্যাসের প্রতি গ্রাম-অণুর গতিশক্তি নির্ণয় করো। $R_0 = 8.3 \times 10^7 \text{ erg/mol K}$.

উঃ। কোনো গ্যাসের প্রতি গ্রাম-অণুর (1 মোল) গড় গতিশক্তি = $\frac{3}{2} R_0 T$

$$\text{এক্ষেত্রে, } R_0 = 8.3 \times 10^7 \text{ erg/mol K}; T = 27 + 273 = 300 \text{ K}$$

$$\therefore \text{গতিশক্তি} = \frac{3}{2} \times 8.3 \times 10^7 \times 300 \text{ erg} = 3735 \times 10^7 \text{ erg} = 3735 \text{ joule}.$$

7. 5 লিটার আয়তনের একটি পাত্রে 16 g অক্সিজেন, 28 g নাইট্রোজেন এবং 44 g কার্বন ডাইঅক্সাইড গ্যাসের মিশ্রণ রাখা আছে। মিশ্রণের উষ্ণতা 27°C হলে গ্যাস মিশ্রণটি পাত্রের দেওয়ালে কত চাপ প্রয়োগ করবে? মোলার গ্যাস-ধ্রুবক $R_0 = 8.315 \text{ joule/mol K}$.

উঃ। আমরা জানি, $PV = \frac{m}{M} R_0 T$ অথবা, $P = \frac{mR_0 T}{MV}$ [m = গ্যাসের ভর এবং M = গ্যাসের আণবিক ভর]

$$\text{অক্সিজেন গ্যাসের চাপ, } p_1 = \frac{16}{32} \times \frac{8.315 \times 300}{5 \times 10^{-3}} = \frac{\frac{1}{2} \times 8.315 \times 60}{10^{-3}} \quad [1 \text{ লিটার} = 10^{-3} \text{ m}^3]$$

$$\text{একইভাবে, নাইট্রোজেন গ্যাসের চাপ } p_2 = \frac{28}{28} \times \frac{8.315 \times 300}{5 \times 10^{-3}} = \frac{8.315 \times 60}{10^{-3}}$$

$$\text{এবং কার্বন ডাইঅক্সাইড গ্যাসের চাপ } p_3 = \frac{44}{44} \times \frac{8.315 \times 300}{5 \times 10^{-3}} = \frac{8.315 \times 60}{10^{-3}}$$

অতএব, গ্যাস মিশ্রণের চাপ

$$P = p_1 + p_2 + p_3 = \frac{8.35 \times 60}{10^{-3}} \left(\frac{1}{2} + 1 + 1 \right) = \frac{8.35 \times 60 \times \frac{5}{2}}{10^{-3}} = 1.25 \times 10^6 \text{ newton/m}^2.$$

8. দুমুখ বন্দ l দৈর্ঘ্যের একটি অনুভূমিক নলে (AB) কিছু আদর্শ গ্যাস আবদ্ধ আছে। গ্যাসের আণবিক ভর M ; নলের A বিন্দু দিয়ে গত একটি উল্লম্ব অক্ষের সাপেক্ষে নলকে

স্থির কৌণিক বেগ ω দিয়ে ঘোরানো হচ্ছে [চিত্র 2.4]। নলের সর্বত্র তাপমাত্রা সুষম ও

স্থির ধরে নিয়ে প্রমাণ করো যে, P_A এবং P_B দুই মুখের চাপ হলে, $P_B = P_A e^{\frac{m\omega^2 l^2}{2RT}}$

যেখানে R গ্যাস ধ্রুবক এবং T নলের স্থির তাপমাত্রা।

উঃ। ধর, A প্রান্ত থেকে x এবং $x+dx$ দৈর্ঘ্যের ভিতর একটি গ্যাস সূত্র (pellet) বিবেচনা করা হচ্ছে (চিত্র 2.4)। x দূরত্বে চাপ p এবং $x+dx$ দূরত্বে $p+dp$ হলে ঐ সূত্রের উপর ক্রিয়ারত বল $= \alpha \cdot dp$ [α = নলের প্রস্থসচ্ছদ]। যেহেতু গ্যাস-সূত্রটি x ব্যাসার্ধের বৃত্তপথে ঘুরছে, তাই $\alpha dp = (dm)\omega^2 \cdot x$ [dm = গ্যাস-সূত্রের ভর] (1)

অবস্থার সমীকরণ $pV = nRT$ বিবেচনা করলে পাই,

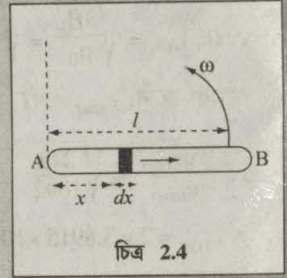
$$p \cdot \alpha \cdot dx = \frac{dm}{M} \cdot R \cdot T \quad \text{অথবা,} \quad dm = \frac{M \cdot p \cdot \alpha}{RT} dx.$$

$$(i) \text{ নং সমীকরণের সাহায্যে পাই } \alpha \cdot dp = \frac{M \cdot p \cdot \alpha}{RT} \omega^2 \cdot x \cdot dx.$$

$$\text{অথবা, } \frac{dp}{p} = \frac{M\omega^2}{RT} \cdot x \cdot dx$$

$$\text{ইন্টিগ্রেট করলে, } \int_{P_A}^{P_B} \frac{dp}{p} = \int_0^l \frac{M\omega^2}{RT} \cdot x \cdot dx$$

$$\text{অথবা, } \log \frac{P_B}{P_A} = \frac{M\omega^2 l^2}{2RT} \quad \text{অথবা} \quad P_B = P_A e^{\frac{M\omega^2 l^2}{2RT}}$$



চিত্র 2.4

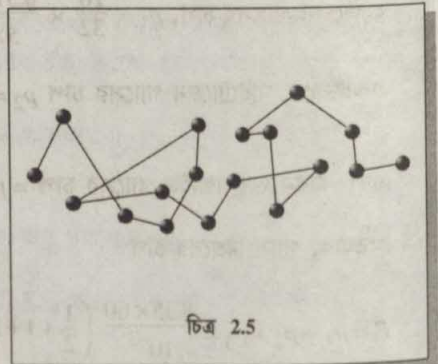
2.11. গড় মুক্তপথ (Mean free path):

গ্যাসের গতিয়তত্ত্ব অনুযায়ী ধরে নেওয়া হয় যে গ্যাসের অণুগুলি সর্বদা পরস্পরের সঙ্গে এবং আধারের (container) দেওয়ালের সঙ্গে ধাক্কা খায়। যেহেতু অণুগুলি পরস্পরের উপর কোন আকর্ষণ বল প্রয়োগ করে না, তাই পরপর দুটি ধাক্কার ভিতর অণুগুলি যে দূরত্ব অতিক্রম করে তা স্বাভাবিক বরাবর করে এবং ওই সময় অণুর বেগ অপরিবর্তিত থাকে। এই দূরত্বকে অণুর মুক্তপথ (free path) বলে। এটা সহজেই অণুমেয় যে কোনো বিশেষ অণুর মুক্ত পথগুলি সব সমান হতে পারে না (চিত্র 2.5)। এই কারণে গড় মুক্ত পথের কল্পনা করা হয়েছে। এর সংজ্ঞা নিম্নরূপ।

প্রতি পরপর দুটি ধাক্কার ভিতর অণু যে গড় দূরত্ব অতিক্রম করে তাকে ঐ অণুর গড় মুক্ত পথ বলা হয়। যদি

n সংখ্যক ধাক্কার ভিতর অণু মোট d দূরত্ব অতিক্রম করে তবে সংজ্ঞা অনুযায়ী গড় মুক্ত পথ (λ).

$$\text{হবে } \lambda = \frac{d}{n}.$$



চিত্র 2.5

এই পরিচ্ছেদের বিষয়বস্তু সম্পর্কে কয়েকটি প্রশ্ন
(Some typical problems of this chapter)

- কোনো বন্ধ আধারে গ্যাস রাখলে গ্যাস-অণুগুলি আধারের দেওয়ালে অনিয়মিতভাবে ধাক্কা দেয়। কিন্তু তাপমাত্রার পরিবর্তন না হলে, আধারে গ্যাসের চাপ স্থির থাকে। এর কারণ কী ?
 - কোনো আবদ্ধ আধারে গ্যাস রাখলে গ্যাস-অণুগুলি আধারের দেওয়ালে ধাক্কা দিয়ে চাপ প্রয়োগ করে; গতিয় তত্ত্ব অনুযায়ী এই চাপ গ্যাস-অণু কর্তৃক আধারের দেওয়ালের উপর অবিরত সংঘর্ষের ফল। এখন, কোনো আধার গ্যাস ভর্তি করলে, তাতে অণুর সংখ্যা হবে প্রচুর। কোনো এক মুহূর্তে এই অণুগুলি বিভিন্ন দিকে গতিশীল হয়—কারো বা গতি দ্রুত, কারো বা অপেক্ষাকৃত কম, কিছু আবার মুহূর্তের জন্য গতিহীনও হতে পারে। অর্থাৎ সর্বদিকে এবং সর্বরকম গতিবেগে (শূন্য থেকে অসীম পর্যন্ত) অণুগুলি পাত্রের ভিতর বিচরণ করে। এরূপ অবস্থায় গাণিতিক সম্ভাব্যতার সূত্র অনুযায়ী এমন একটি গড় গতিবেগ কল্পনা করা যায় যে গড় গতিবেগ নিয়ে চললে সকল অণু যে চাপ প্রয়োগ করবে, তা গ্যাসের প্রকৃত চাপের সমান হয়। তাপমাত্রা পরিবর্তন না করলে, এই গড় গতিবেগ পরিবর্তন করে না। ফলে বিভিন্ন অণুর গতিবেগ বিভিন্ন হলেও গড় গতিবেগ অপরিবর্তিত থাকে। তাই পাত্রের দেওয়ালে গ্যাস প্রদত্ত চাপও অপরিবর্তিত থাকে।
- একটি ঘনকাকৃতির পাত্রের অভ্যন্তরস্থ একটি দেওয়াল গ্যাস অণুকে প্রতিক্ষিপ্ত (rebound) করে না। ঘনকের এই তলে গ্যাসের চাপ কি অন্যান্য তলের তুলনায় কম হবে ? যদি হয়, তবে কেন হয়, তা ব্যাখ্যা করো।
 - যে দেওয়াল গ্যাস-অণুকে প্রতিক্ষিপ্ত করে না, সেই দেওয়ালে গ্যাস-অণু ধাক্কা দিলে তার প্রতিক্ষিপ্ত গতিবেগ হবে শূন্য। ফলে, এই দেওয়ালে ধাক্কা দিলে অণুর ভরবেগ পরিবর্তন হবে গ্যাস-অণুর ভর এবং অণুর আপতিত গতিবেগের গুণফলের সমান। কিন্তু অন্যান্য দেওয়ালে গ্যাস-অণুগুলির ভরবেগের পরিবর্তন হবে, অণুর ভর এবং দ্বিগুণ গতিবেগের গুণফলের সমান। সুতরাং প্রথম দেওয়ালে প্রযুক্ত বল হবে অন্যান্য দেওয়ালে প্রযুক্ত বলের অর্ধেক। অথবা প্রথম দেওয়ালের চাপ অন্যান্য দেওয়ালের তুলনায় কম হবে।
- A এবং B দুটি সমআয়তনের পাত্রে একই উচ্চতায় একই গ্যাস দ্বারা ভর্তি করা হল। A পাত্রের তুলনায় B পাত্রের চাপ দ্বিগুণ হলে B পাত্রের অণুর সংখ্যা এবং A পাত্রের অণুর সংখ্যার অনুপাত কী হবে ?
 - পাত্রের চাপ $P = \frac{1}{3} \frac{M}{V} c_{rms}^2 = \frac{1}{3} \cdot \frac{mn}{V} c_{rms}^2$; কাজেই, $P \propto n$ কারণ অন্যান্য রাশিগুলি ধ্রুবক।
অতএব, $\frac{P_B}{P_A} = \frac{n_B}{n_A} = \frac{2}{1}$ ।
- বিভিন্ন আদর্শ গ্যাসের তাপমাত্রা সমান হলে, তাদের অণুর আর. এম. এস্. গতিবেগ কি সমান হবে ?
 - কোনো গ্যাসের এক গ্রাম-অণুর বেলায় $c_{rms} = \sqrt{\frac{3R_0T}{M_0}}$ এখন, 1 গ্রাম-অণুর ক্ষেত্রে বিভিন্ন গ্যাসের গ্যাস-ধ্রুবক (R_0) সমান; তাছাড়া তাপমাত্রা যদি সমান হয়, তবে আমরা পাই, $c_{rms} \propto \frac{1}{\sqrt{M_0}}$; অর্থাৎ বলা যায়, একই তাপমাত্রায় ভারী গ্যাস-অণুর আর. এম. এস্. গতিবেগ হালকা অণুর চাইতে কম হবে।

5. যখন একটি গ্যাস সিলিভারকে গাড়িতে চাপিয়ে নিয়ে যাওয়া হয় তখন কি গ্যাস অণুগুলির গতিশক্তি বৃদ্ধি পায়? তাপমাত্রা বৃদ্ধি পায়?
- গাড়ির গতিবেগ বৃদ্ধি পেলেও গ্যাস অণুগুলির গতিবেগ বৃদ্ধি পায় না। গ্যাস অণুগুলির গতিবেগ পূর্বের ন্যায় একই থাকে। ফলে, অণুগুলির গতিশক্তি বা তাপমাত্রা কোন পরিবর্তন হয় না।
6. রান্না করার গ্যাস সিলিভারের অভ্যন্তরস্থ গ্যাস কি আদর্শ গ্যাস সমীকরণ মেনে চলে?
- না; রান্নার গ্যাস সিলিভারের গ্যাস ক্রমাগত খরচ হয় এবং ঐ গ্যাসের ভর কমতে থাকে। কিছু আদর্শ গ্যাস সমীকরণ প্রযোজ্য হয় যখন গ্যাসের ভর স্থির থাকে।
7. একটি আবেশনীর মধ্যে কিছু গ্যাস রাখা আছে। পাম্পের সাহায্যে কিছু গ্যাস বার করে নিয়ে গ্যাসের চাপ কমানো হল। গ্যাসের তাপমাত্রা কি চার্লস সূত্র অনুযায়ী কমে যাবে?
- না; চার্লস সূত্র প্রযোজ্য হবে যখন গ্যাসের ভর অপরিবর্তিত থাকে।
8. পরম শূন্য তাপমাত্রায় গ্যাস-অণুর গতিবেগ কী হবে?
- গ্যাসের গতিয় তত্ত্ব থেকে জানা যায় যে গ্যাস-অণুর মোট শক্তি $= \frac{3}{2} kT$ যেখানে k = ধ্রুবক; অতএব মোট শক্তি $\propto T$ । এখন গ্যাস অণুগুলির ভিতর পারস্পরিক আকর্ষণ নেই বলে, অণুগুলির কোনো স্থিতিশক্তি থাকে না; গ্যাস-অণুর শক্তি কেবলমাত্র গতিশক্তি। $T=0$ হলে গ্যাস-অণুর গতিশক্তি হবে শূন্য এবং সেই কারণে গতিবেগও হবে শূন্য।
9. সমতাপমাত্রায় সকল প্রকার আদর্শ গ্যাসের 1 মোলে যে অণুগুলি থাকে, তাদের গড় গতিশক্তি কি সমান হয়?
- হ্যাঁ, সমান হয়। আদর্শ গ্যাসের 1 মোলের গড় গতিশক্তি $E = \frac{3}{2} \cdot R_0 T$; R_0 -মোলার গ্যাস-ধ্রুবক সকল প্রকার গ্যাসের বেলায় সমান। তাছাড়া তাপমাত্রা (T) সমান হওয়ায় 1 মোলের গড় গতিশক্তি সকল প্রকার গ্যাসের বেলায় সমান।
10. সচ্ছিদ্র দেওয়ালযুক্ত একটি পাত্রকে দুটি গ্যাসের মিশ্রণ দ্বারা ভর্তি করে বায়ুশূন্য স্থানে রাখা হল। মিশ্রণের যে গ্যাসটি হালকা, সেটি আগে পাত্র হতে নিষ্কাশিত হবে। কেন?
- তাপমাত্রা যদি সমান থাকে, তবে গ্যাস-অণুর গড় বর্গবেগের বর্গমূল $c_{rms} \propto \frac{1}{\sqrt{M_0}}$; এথেকে বলা যায় যে হালকা গ্যাসের অণুগুলির আর. এম. এস. গতিবেগ ভারী গ্যাসের অণুর চাইতে বেশি। এই কারণে হালকা গ্যাসের অণুগুলি দেওয়ালের ছিদ্র দিয়ে আগেই বার হয়ে আসবে।
11. গ্যাসের গতিয় তত্ত্ব কোন্ ধরনের গ্যাসের পক্ষে প্রযোজ্য।
- $PV = RT$ এই গ্যাস সমীকরণ কেবলমাত্র আদর্শ গ্যাসের পক্ষে খাটে। কয়েকটি আদর্শ মূল অঙ্গীকারের উপর প্রতিষ্ঠিত গতিয় তত্ত্ব হতে উপরোক্ত গ্যাস সমীকরণ প্রতিষ্ঠা করা যায়, এটা আমরা জানি। ঐ অঙ্গীকারগুলি আদর্শ গ্যাসের বেলাতে প্রযোজ্য। অতএব, গ্যাসের গতিয় তত্ত্ব কেবলমাত্র আদর্শ গ্যাসের পক্ষেই প্রযোজ্য; বাস্তব গ্যাসের (real gases) পক্ষে সকল অবস্থাতেই প্রযোজ্য নয়।
12. একটি পাত্র A-তে হাইড্রোজেন গ্যাস এবং দ্বিগুণ আয়তনের অপর একটি পাত্র B-তে সমভরের অক্সিজেন গ্যাস আছে। গ্যাস দুটির তাপমাত্রা সমান। (i) হাইড্রোজেন এবং অক্সিজেন অণুর গড় গতিশক্তির অনুপাত (ii) গ্যাস-অণু দুটির আর. এম. এস. গতিবেগের অনুপাত এবং (iii) পাত্র দুটিতে গ্যাসের চাপের অনুপাত কী হবে?
- (i) তাপমাত্রা সমান থাকায় গ্যাস দুটির অণুর গড় গতিশক্তি সমান হবে। অণুর গড় গতিশক্তি $E = \frac{3}{2} kT = \text{ধ্রুবক} \times T$ অথবা, $E \propto T$ । অতএব গড় গতিশক্তির অনুপাত = 1 : 1

(ii) আমরা জানি, $\frac{(c_1)_{rms}}{(c_2)_{rms}} = \sqrt{\frac{M_2}{M_1}} = \sqrt{\frac{32}{2}} = 4:1$

(iii) আমরা জানি, $P = \frac{1}{3} \frac{M}{V} c_{rms}^2$; প্রদানুযায়ী M ধ্রুবক।

অতএব, $\frac{P_1}{P_2} = \frac{(c_1^2)_{rms}}{V_1} \times \frac{V_2}{(c_2^2)_{rms}} = \frac{V_2}{V_1} \left(\frac{c_1}{c_2} \right)^2 = \frac{2}{1} \times \left(\frac{4}{1} \right)^2 = \frac{32}{1}$.

* প্রশ্নাবলি *

→ রচনামূলক প্রশ্ন

1. পদার্থের অণুগুলি যে সতত সম্ভারমান তা কীরূপে বোঝা যায়?
2. ব্রাউনিয় গতি কাকে বলে? এই গতির বৈশিষ্ট্য কী? এরূপ গতির কারণ কী?
3. গ্যাসের গতি তত্ত্ব কাকে বলে? এই তত্ত্বের মূল অজীকারগুলি বিবৃত করো।
4. গ্যাসের গতি তত্ত্ব অনুযায়ী গ্যাসের চাপ ব্যাখ্যা করো এবং একটি রাশিমালা প্রতিষ্ঠা করো।
5. (a) গতি তত্ত্বের সাহায্যে আদর্শ গ্যাসের চাপ ও উষ্ণতার ধারণা ব্যাখ্যা করো।
(b) গতি তত্ত্ব অনুযায়ী প্রমাণ করো যে গ্যাসের চাপ $P = \frac{2}{3} \frac{E}{V}$; E = এক গ্রাম-অণু গ্যাসের মোট গতিশক্তি এবং V = মোলার আয়তন।
(c) দেওয়া আছে যে T পরম তাপমাত্রায় আদর্শ গ্যাসের একটি অণুর গড় গতিশক্তি $\frac{3}{2} \left(\frac{R_0}{N} \right) T$, যেখানে R_0 গ্যাস-ধ্রুবক এবং N অ্যাভোগাড্রো সংখ্যা। এক্ষেত্রে আদর্শ গ্যাসের সমীকরণ নির্ণয় করো।
6. গ্যাসের গতি তত্ত্ব কী? দেখাও যে এই তত্ত্ব হতে আদর্শ গ্যাসের ক্ষেত্রে বয়েল সূত্র প্রতিষ্ঠা করা যায় এবং গ্যাসের তাপমাত্রা গ্যাস-অণুর গড় গতিশক্তির সমানুপাতিক, তা প্রমাণ করা যায়।

→ অতি সংক্ষিপ্ত উত্তরের প্রশ্ন

1. ব্রাউনিয় গতি পর্যবেক্ষণের সময় আমরা তরলের অণুর গতি দেখি না, কোন কণিকার গতি দেখি?
2. আদর্শ গ্যাস কাকে বলে?
3. একটি পাত্রে দুটি বিভিন্ন গ্যাসের মিশ্রণ আছে। অণুপ্রতি গড় গতিশক্তি কি দুই গ্যাসের বেলায় সমান হবে?
4. চারটি গ্যাস অণুর গতিবেগ v_1, v_2, v_3 এবং v_4 । এদের গড় বেগ এবং গড়বেগের বর্গমূল মান কত হবে?
5. একটি পাত্রে সমসংখ্যক হাইড্রোজেন ও অক্সিজেন অণু আছে। বায়ু একটি ক্ষুদ্র ছিদ্র আছে। কোন গ্যাসটি দ্রুত ছিদ্র দিয়ে বেরিয়ে আসবে?
6. স্বাভাবিক চাপ ও তাপমাত্রায় 1 cm^3 হাইড্রোজেন ও 1 cm^3 অক্সিজেন আছে। কোন্ গ্যাসে অণুর সংখ্যা বেশী?
7. সর্বাপেক্ষা সম্ভাব্য গতিবেগ কাকে বলে?
8. গড় মুক্ত পথের সংজ্ঞা দাও।

→ সংক্ষিপ্ত উত্তরের প্রশ্ন

1. গ্যাসের অণুগুলি সর্বদা অবিন্যস্ত গতিতে ছোটাছুটি করে এই ধারণার স্বপক্ষে সরাসরি সাক্ষ্য প্রমাণাদি কী আছে?
2. আর. এম. এস. বেগ বলতে কী বোঝায়?
3. গ্যাস-অণুর গড় গতিবেগ ও গড় বর্গবেগের বর্গমূল কাকে বলে? গ্যাসের গতি তত্ত্ব কোনটি বেশি প্রয়োজনীয়?
4. (a) একটি আদর্শ গ্যাসের অণুগুলির গড় বর্গবেগের বর্গমূল কীরূপভাবে পরিবর্তিত হবে যদি (i) তাপমাত্রা বৃদ্ধি করা যায় (ii) গ্যাসের ঘনত্ব কমানো যায়?

[সংকেত : আদর্শ গ্যাসের চাপ P এবং ঘনত্ব ρ হলে, গ্যাস-অণুর গড় বর্গবেগের বর্গমূল $c_{rms} = \sqrt{3P/\rho}$; এখন তাপমাত্রা বৃদ্ধি করলে, গ্যাসের চাপ P বৃদ্ধি পাবে; কাজেই c_{rms} -এর মান বৃদ্ধি পাবে। আবার, উপরিউত

সমীকরণ হতে পাই, $c_{rms} \propto \frac{1}{\sqrt{\rho}}$ অর্থাৎ গ্যাসের ঘনত্ব কমলে, c_{rms} -এর মান বাড়ে।]

5. “একই তাপমাত্রায় বিভিন্ন আদর্শ গ্যাসের অণুগুলির আর. এম. এস. গতিবেগের মান সমান।” এটা কি ঠিক? যুক্তি-সহ উত্তর দাও।

[সংকেত : $c_{rms} = \sqrt{\frac{3R_0T}{M_0}}$; M_0 গ্রাম-আণবিক ভর।]

6. গ্যাসের গভীর তত্ত্বানুযায়ী চাপের রাশিমালা হতে বয়েল সূত্র ও অ্যাবোগাড্রো প্রকল্প প্রতিষ্ঠা করো।
 7. গ্যাসের গভীর তত্ত্বানুযায়ী তাপমাত্রার ব্যাখ্যা কী?
 8. এক গ্রাম-অণু গ্যাসের গতিশক্তি নির্ণয় করো। এর মান কি সকল গ্যাসের ক্ষেত্রে সমান?
 9. প্রমাণ করো যে গভীর তত্ত্বানুযায়ী, গ্যাস-অণুর গড় গতিশক্তি গ্যাসের পরম তাপমাত্রার সমানুপাতিক।
 10. সমউষ্ণতায় অক্সিজেন এবং হাইড্রোজেন গ্যাসের অণুগুলির আর. এম. এস.-এর গতিবেগ সমান হবে কি?

[Jt. Entrance 1989]

11. গ্যাসের গভীর তত্ত্বে গ্যাস-অণুগুলির মহাকর্ষীয় স্থিতিশক্তি পরিবর্তনের কথা বিবেচনা করা হয় না কেন?
 [সংকেত : গ্যাস-অণুগুলির গড় গতিশক্তির তুলনায় মহাকর্ষীয় স্থিতিশক্তির পরিবর্তন এতই নগণ্য যে তাকে উপেক্ষা করা যায়।]
 12. একই আয়তনের তিনটি পাত্রে একই তাপমাত্রা ও চাপে তিনটি গ্যাস আছে। একটি গ্যাস এক-পরমাণুক, দ্বিতীয়টি দ্বি-পরমাণুক এবং তৃতীয়টি বহু-পরমাণুক। পাত্রস্থ গ্যাসগুলির অণুর সংখ্যা কী সব সমান? এদের আর. এম. এস. গতিবেগ কী সব সমান?

[সংকেত : অ্যাবোগাড্রো উপপাদ্য অনুসারে পাত্রস্থ গ্যাসগুলির অণুর সংখ্যা সমান। আণবিক ভর (M) গ্যাসগুলির ক্ষেত্রে বিভিন্ন বলে আর. এম. এস. গতিবেগ ($c_{rms} = \sqrt{\frac{3RT}{M}}$) সমান নয়।]

➤ বহুমুখী পছন্দের প্রশ্ন [Multiple choice type (MCQ)]

- (A) নির্ভুল উত্তরটি ✓ চিহ্নিত করো :

- [i] কোন গ্যাসের গড়বেগ \bar{c} , r.m.s. বেগ c_{rms} এবং সর্বাপেক্ষা সম্ভাব্য বেগ C_m হলে,

- (A) $c_m < \bar{c} < c_{rms}$ (B) $\bar{c} < c_{rms} < c_m$ (C) $c_m > \bar{c} > c_{rms}$ (D) কোনটিই ঠিক নয়।

- [ii] পাত্রে রাখা গ্যাস পাত্রের দেওয়ালে যে চাপ দেয় তার কারণ গ্যাস অণুগুলি [Jt. Entrance 2006]

- (A) গতিশক্তি নষ্ট করে,
 (B) দেওয়ালে আটকে থাকে,
 (C) দেওয়ালের দিকে স্বরণসহ অগ্রসর হয়,
 (D) দেওয়ালে ধাক্কা দিয়ে ভরবেগ পরিবর্তন করে।

- [iii] গভীরতত্ত্ব অনুযায়ী পরম শূন্য উষ্ণতায়

- (A) জল জমে যায় (B) তরল হিলিয়াম জমে যায়
 (C) আণবিক গতি শূন্য হয়ে যায় (D) তরল হাইড্রোজেন জমে যায়।

- [iv] একটি আদর্শ গ্যাসের চাপ P এবং আয়তন প্রতি গড় গতিশক্তি E । তাদের মধ্যে প্রকৃত সম্পর্ক হবে

- (A) $P = E$ (B) $P = \frac{E}{2}$ (C) $P = \frac{2}{3}E$ (D) $P = \frac{3}{2}E$ ।

- [v] নির্দিষ্ট আয়তনের একটি বদ্ধ পাত্রে m ভরের আদর্শ গ্যাস আছে। তাদের r.m.s. বেগ v । অতিরিক্ত m ভরের একই গ্যাস পাত্রে ঢোকালে স্থির তাপমাত্রায় চাপ হয় $2P$; গ্যাস অণুগুলির বর্তমান r.m.s. বেগ হবে

- (A) v (B) $2v$ (C) $\sqrt{2}v$ (D) $\frac{v}{\sqrt{2}}$

- [vi] কোনো গ্যাসের বেলায় 800 K উষ্ণতায় r.m.s. গতিবেগ হবে

- (A) 200 K তাপমাত্রার গতিবেগের চারগুণ,
 (B) 200 K তাপমাত্রার গতিবেগের অর্ধেক,
 (C) 200 K তাপমাত্রার গতিবেগের দ্বিগুণ,
 (D) 200 K তাপমাত্রার গতিবেগের সমান।

- [vii] আদর্শ গ্যাসের নির্দিষ্ট উষ্ণতায় সর্বাপেক্ষা সম্ভাব্য গতিবেগ c_m এবং গড় বেগের বর্গমূল মান c_{rms} ; তাহলে c_m/c_{rms} অনুপাত হবে

- (A) $\sqrt{\frac{3}{2}}$ (B) $\sqrt{\frac{2}{3}}$ (C) $\sqrt{\frac{3}{4}}$ (D) $\frac{2}{\sqrt{3}}$

[viii] গ্যাস অণুর r.m.s. গতিবেগ

- (A) তাপমাত্রা T -এর সমানুপাতিক (B) তাপমাত্রা T -এর ব্যস্তানুপাতিক
(C) অণবিক ভরের ব্যস্তানুপাতিক (D) কোনোটিই নয়।

[ix] নিম্নলিখিত রাশিগুলির মধ্যে কোন্টি নির্দিষ্ট তাপমাত্রায় সকল প্রকার গ্যাস অণুর বেলায় সমান?

- (A) ভর (B) দ্রুতি (C) ভরবেগ (D) গতিশক্তি।

[x] আদর্শ গ্যাসের চাপের রাশিমালা $p = \frac{2}{3} \frac{E}{V}$ । এখানে E বোঝাচ্ছে

- (A) রৈখিক গতিশক্তি (B) বৃত্তীয় গতিশক্তি (C) কম্পনজনিত গতিশক্তি (D) মোট গতিশক্তি।

[xi] নিম্নলিখিত গ্যাসগুলির মধ্যে কোন্টির নির্দিষ্ট তাপমাত্রায় r.m.s. গতিবেগ সর্বাধিক?

- (A) হাইড্রোজেন (B) নাইট্রোজেন (C) অক্সিজেন (D) কার্বন ডাই-অক্সাইড।

[xii] ঘরের তাপমাত্রায় অক্সিজেন গ্যাস অণুর r.m.s. গতিবেগ প্রায় 500 m/s। ঐ তাপমাত্রায় হাইড্রোজেন গ্যাসের r.m.s. গতিবেগ হবে।

- (A) 125 m/s (B) 2000 m/s (C) 8000 m/s (D) 31 m/s.

[xiii] অক্সিজেন অণু হাইড্রোজেন অণু অপেক্ষা 16 গুণ ভারী হলে একই তাপমাত্রায় তাদের r.m.s. গতিবেগে অনুপাত

- (A) 2 : 1 (B) 1 : 2 (C) 4 : 1 (D) 1 : 4.

[xiv] কোন্ তাপমাত্রায় হাইড্রোজেন অণুর r.m.s. বেগ 47°C তাপমাত্রার অক্সিজেন অণুর r.m.s. গতিবেগের সমান হবে?

- (A) 80K (B) -73K (C) 3K (D) 20K.

[xv] দুটি পাত্রে 1 : 5 অনুপাতে হাইড্রোজেন ও অক্সিজেন গ্যাসের মিশ্রণ থাকলে, ঐ দুই গ্যাসের অণুগুলির গড় গতিশক্তির অনুপাত

- (A) 1 : 16 (B) 1 : 4 (C) 1 : 5 (D) 1 : 1.

[xvi] কোনো আদর্শ গ্যাসের r.m.s. বেগ C । তাপমাত্রা স্থিররেখে গ্যাসের আয়তন ত্রিগুণ করলে ওই মান হবে

- (A) $2C$ (B) $\sqrt{2}C$ (C) $\frac{C}{\sqrt{2}}$ (D) C .

[xvii] কোনো নির্দিষ্ট পরিমাণ গ্যাসের অভ্যন্তরীণ শক্তি নির্ভর করে

- (A) চাপের উপর (B) আয়তনের উপর (C) তাপমাত্রার উপর (D) ঘনত্বের উপর।

[xviii] এক মোল পরিমাণ আদর্শ গ্যাসের গতিশক্তির মান

- (A) KT (B) $\frac{1}{2} RT$ (C) $\frac{3}{2} RT$ (D) $\frac{3}{2} KT$.

[xix] কোন আদর্শ গ্যাসের বুদ্ধতাপ প্রসারণে বাহ্যিক কৃতকার্য ΔW হলে

- (A) $\Delta W > 0$ (B) $\Delta W < 0$ (C) $\Delta W = 0$ (D) কোনোটিই নয়।

[xx] একটি গ্যাসের বুদ্ধতাপ পরিবর্তনে চাপ (P) পরম তাপমাত্রার ত্রিঘাতের (T^3) সমানুপাতিক। ওই গ্যাসটির

$\frac{C_p}{C_v}$ -এর মান হবে

- (A) $\frac{4}{3}$ (B) 2 (C) $\frac{5}{3}$ (D) $\frac{3}{2}$.

[xxi] একটি পাত্রে হাইড্রোজেন ও অক্সিজেন গ্যাসের মিশ্রণ আছে। অক্সিজেন অণুগুলির গড় বেগের বর্গমূল

(A) হাইড্রোজেনের একই রাশির 4 গুণ হবে (B) হাইড্রোজেনের একই রাশির 16 গুণ হবে

(C) হাইড্রোজেনের একই রাশির $\frac{1}{4}$ গুণ হবে (D) হাইড্রোজেনের একই রাশির $\frac{1}{16}$ গুণ হবে।

[Jt. Entrance 2006]

[xxii] যদি k বোলজম্যান ধ্রুবক ও T তাপমাত্রা হয় তাহলে গ্যাসের প্রতি অণুর গড় গতিশক্তি হবে,

[Jt. Entrance 2006]

- (A) $\frac{2}{3} KT$ (B) $\sqrt{\frac{2}{3}} KT$ (C) $\frac{3}{2} KT$ (D) $\sqrt{\frac{3}{2}} KT$.

- [xxiii] একটি 5 লিটার পাত্রে কোনো গ্যাসের 10^{26} সংখ্যক অণু আছে। প্রতিটি অণুর ভর 2.4×10^{-25} g; গড় বর্গবেগের বর্গমূল হল 3.5×10^4 cm/s⁻¹। গ্যাসের চাপ হবে প্রায়
 (A) 2×10^6 dyne cm⁻² (B) 10^6 dyne cm⁻²
 (C) 3×10^6 dyne cm⁻² (D) 5×10^6 dyne cm⁻². [Jt. Entrance 2006]
- [xxiv] এক গ্রাম অণু হিলিয়াম গ্যাসের 27°C উষ্ণতায় গতিশক্তি হবে ($R_0 = 8.3 \times 10^7$ erg/mole K)
 (A) 1000J (B) 3735 J (C) 2000J (D) 1500J.
- [xxv] দুটি দৃঢ় বাস্তবে দুটি ভিন্ন আদর্শ গ্যাস রাখা আছে। A বাস্তবে T_0 তাপমাত্রায় এক মোল নাইট্রোজেন এবং B বাস্তবে $(7/3)T_0$ তাপমাত্রায় 1 মোল হিলিয়াম গ্যাস রাখা আছে। এখন বাস্তব দুটিকে পরস্পরের সঙ্গে তাপীয় সংস্পর্শে রাখা হল। গ্যাস দুটির ভিতর তাপের প্রবাহ হয়ে শেষে একটি অস্থিতি সাধারণ তাপমাত্রা উপস্থিত হল। T_0 তাপমাত্রায় পরিপ্রেক্ষিতে ঐ সাধারণ তাপমাত্রা T_f হবে,
 (A) $T_f = \frac{7}{3} T_0$ (B) $T_f = \frac{3}{2} T_0$ (C) $T_f = \frac{5}{2} T_0$ (D) $T_f = \frac{3}{7} T_0$. [A.I.E.E. Exam. 2006]

(B) শূন্যস্থান পূরণ করো (Fill up the gaps) :

- [i] গ্যাস-অণুর গড় বর্গবেগের বর্গমূল মান নির্ভর করে আণবিক _____ এবং _____ উপর।
 [ii] গ্যাস-অণুর গড় রৈখিক গতিশক্তি তার _____ সমানুপাতিক।
 [iii] T পরম তাপমাত্রায় এক মোল আদর্শ গ্যাসের গড় রৈখিক গতিশক্তি _____।
 [iv] একটি গ্যাস একটি অতিরিক্ত সম্পর্ক VP^2 মেনে চলে। গ্যাসের প্রাথমিক তাপমাত্রা এবং আয়তন যথাক্রমে T এবং V। আয়তন 2V হলে, তাপমাত্রা হবে _____।
 [v] গ্যাসের গভীর তত্ত্ব অনুযায়ী গ্যাস অণুগুলির সম্পূর্ণ শক্তি _____।
 [vi] গভীর তত্ত্বের আলোচনায় গড় বেগ অপেক্ষা _____ বেশি প্রয়োজনীয়।

(C) ভুল কি নির্ভুল বিচার করো (True or false type) :

- [i] বিভিন্ন গ্যাসের উষ্ণতা সমান হলে তাদের অণুর r.m.s. গতিবেগ সমান হবে।
 [ii] পরমশূন্য উষ্ণতায় গ্যাস অণুর বেগ হয় শূন্য।
 [iii] নিম্নচাপে আদর্শ গ্যাসের আচরণের সঙ্গে বাস্তব গ্যাসের আচরণের কোনো মিল নেই।
 [iv] গ্যাস অণুর ব্রাউনীয় গতি তাপমাত্রা বৃদ্ধি পেলে বৃদ্ধি পায়।

■ সহজ গাণিতিক প্রশ্ন

1. 1 লিটার আয়তনের একটি প্রকোষ্ঠে 10^{25} সংখ্যক গ্যাস-অণু আছে। ঐ গ্যাসের প্রত্যেকটি অণুর ভর 5×10^{-25} g এবং গড় বর্গবেগের বর্গমূল মান 5×10^3 cm/s হলে গ্যাসের চাপ নির্ণয় করো।
 [Ans. 4.16×10^4 dyne/cm²]
2. 1 litre আয়তনের একটি আধারে 2.5×10^{23} সংখ্যক নাইট্রোজেন অণু আছে। অণুগুলির প্রতিটির ভর 4.65×10^{-23} g ও মূলগড় বর্গবেগ 5×10^4 cm/s. গ্যাসের চাপ ও মোট গতিশক্তি নির্ণয় করো।
 [Jt. Entrance 1995] [Ans. 9.69×10^6 dyne/cm²; 1.45×10^{10} erg]
3. প্রমাণ চাপ ও তাপমাত্রায় হাইড্রোজেন অণুর গড় বর্গবেগের বর্গমূল নির্ণয় করো। হাইড্রোজেনের ঘনত্ব $= 9 \times 10^{-5}$ g/cm³
 [Ans. 1.84×10^5 cm/s]
4. 0°C উষ্ণতায় নাইট্রোজেন গ্যাসের অণুগুলির গড় বর্গবেগের বর্গমূল মান নির্ণয় করো। প্রমাণ চাপ ও তাপমাত্রায় নাইট্রোজেনের ঘনত্ব $= 1.25$ g/litre, পারদের ঘনত্ব $= 13.6$ g/cm³.
 [Ans. 4.93×10^4 cm/s]
5. প্রমাণ চাপ ও উষ্ণতায় একটি গ্যাসের অণুর r.m.s. বেগ $= 10$ km/s হলে, ঐ গ্যাসের ঘনত্ব কত? চাপ যদি স্থির রাখা হয়, তাহলে 100°C তাপমাত্রায় ঘনত্ব কত হবে?
 [Ans. 0.003 g/cm³; $.0022$ g/cm³]
6. কোন তাপমাত্রায় হাইড্রোজেন অণুর গড় বর্গবেগের বর্গমূল কার্বন ডাইঅক্সাইড অণুর বর্গমূলমানের সমান হবে? কার্বন ডাইঅক্সাইড অণু হাইড্রোজেন অণুর চাইতে 22 গুণ ভারী।
 [Ans. 15K]
7. গ্যাস-ধ্রুবক $R = 8.3 \times 10^7$ erg per °C এবং ফ্রেনিনের পারমাণবিক ভর $= 35.5$ হলে, 0°C উষ্ণতায় ফ্রেনিন অণুর আর. এম্. এস্. গতিবেগ নির্ণয় করো।
 [Ans. 3.1×10^4 cm/s]
- [সংকেত : $c_{rms} = \sqrt{\frac{3RT}{M_0}}$; $M_0 = 2 \times 35.5$ কারণ ফ্রেনিন অণু দ্বি-পারমাণবিক]
8. 0°C উষ্ণতায় এবং 10^{-2} বায়ুমণ্ডলীয় চাপে কোনো গ্যাসের ঘনত্ব 1.24×10^{-5} g/cm³, ঐ গ্যাসের আর. এম্. এস্. বেগ এবং আণবিক ভর নির্ণয় করো। $R_0 = 8.31$ joule/mol K.
 [Ans. 495 m/s; 27.2]
- [সংকেত : $c_{rms}^2 = \frac{3R_0T}{M_0}$ সমীকরণ প্রয়োগ করো।]

9. 27°C উষ্ণতায় অক্সিজেন গ্যাসের অণুর বেগের বর্গসাম্য মূল নির্ণয় করো। $[R = 8.3 \times 10^7 \text{ অর্গ} \cdot \text{ডিগ্রি মোল}; \text{অক্সিজেনের পারমাণবিক ভর} = 16]$
[Ans. $4.83 \times 10^4 \text{ cm/s}$]

কঠিন গাণিতিক প্রশ্ন

- কোনো গ্যাসের তাপমাত্রা 27°C হতে বৃদ্ধি করে 327°C করা হল। দেখাও চূড়ান্ত উচ্চ তাপমাত্রায় গ্যাস অণুর আর. এম. এস. গতিবেগ প্রাথমিক গতিবেগের $\sqrt{2}$ গুণ।
- প্রমাণ চাপ ও তাপমাত্রায় কোনো আদর্শ গ্যাসের অণুর আর. এম. এস. বেগ 0.5 km/s ; ঐ গ্যাসের ঘনত্ব নির্ণয় করো। চাপ অপরিবর্তিত রেখে 21°C উষ্ণতায় ঐ গ্যাসের ঘনত্ব নির্ণয় করো। $1 \text{ বায়ুমণ্ডলীয় চাপ} = 10^5 \text{ N/m}^2$
[Jt. Entrance 1983] [Ans. 1.2 kg/m^3 ; 1.11 kg/m^3]
- 100 cm^3 ফ্লাস্কে 5.5×10^{24} হাইড্রোজেন অণু আছে। প্রত্যেক অণুর ভর $3.32 \times 10^{-24} \text{ g}$ এবং আর. এম. এস. গতিবেগে $3 \times 10^4 \text{ cm/s}$ হলে, বায়ুমণ্ডল এককে ফ্লাস্কের চাপ নির্ণয় করো। [Ans. $54.24 \text{ বায়ুমণ্ডল (প্রায়)}$]
- 10^{-3} বায়ুমণ্ডলীয় চাপ ও -27°C উষ্ণতায় 1 cm^3 আয়তনের গ্যাসে অণুর সংখ্যা নির্ণয় করো। $R_0 = 8.31 \text{ joule/mol K}$ এবং অ্যাভোগাড্রো সংখ্যা $= 6.03 \times 10^{23}$.
[Ans. 2.98×10^{16}]
- হাইড্রোজেন অণুর সংখ্যা 6.8×10^{15} প্রতি cm^3 এবং অণুর আর. এম. এস. গতিবেগ $1.9 \times 10^5 \text{ cm/s}$ হলে মিলিমিটার পারদ এককে হাইড্রোজেনের চাপ নির্ণয় করো। অ্যাভোগাড্রো সংখ্যা $= 6.02 \times 10^{23}$ এবং হাইড্রোজেনের আপেক্ষিক আণবিক ভর $= 2.02$.
[Ans. 0.21 mm]
- 1092 K উষ্ণতায় অক্সিজেন অণুর আর. এম. এস. গতিবেগ নির্ণয় করো। প্রমাণ চাপ ও উষ্ণতায় অক্সিজেনের ঘনত্ব $= 1.424 \text{ kg/m}^3$.
[Ans. $9.22 \times 10^2 \text{ m/s}$]
- 27°C উষ্ণতা এবং 1 cm পারদ চাপে কোনো আদর্শ গ্যাসের প্রতি cm^3 আয়তনে অণুর সংখ্যা নির্ণয় করো। 27°C উষ্ণতার অণু প্রতি গড় গতিশক্তি $= 4 \times 10^{-14} \text{ erg}$ এবং পারদের ঘনত্ব 13.6 g/cm^3 . [Ans. 4.99×10^7]
- হাইড্রোজেন অণুর গড় গতিশক্তি $5.64 \times 10^{-14} \text{ erg}$ যখন উষ্ণতা 0°C ; মোলার গ্যাস-ধ্রুবক $R_0 = 8.32 \times 10^7 \text{ erg/K}$ হলে, অ্যাভোগাড্রো সংখ্যা নির্ণয় করো।
[Ans. 6.04×10^{23}]

[সংকেত : গড় গতিশক্তি $= \frac{3}{2} \cdot \frac{R}{N} T$; N = অ্যাভোগাড্রো সংখ্যা]

- যে তাপমাত্রায় পৃথিবীর বায়ুমণ্ডলস্থিত নাইট্রোজেন অণুর আর. এম. এস. গতিবেগ পৃথিবীর অভিকর্ষক্ষেত্র হতে মুক্তিবেগের সমান হবে তা নির্ণয় করো। নাইট্রোজেন পরমাণুর ভর $= 23.24 \times 10^{-24} \text{ g}$; পৃথিবীর গড় ব্যাসার্ধ $= 6370 \text{ km}$; বোল্জম্যান ধ্রুবসংখ্যা $= 1.38 \times 10^{-16} \text{ erg}^\circ\text{C}$; $g = 980 \text{ cm/s}^2$.
[Ans. $14.12 \times 10^4 \text{ K}$]
[সংকেত : মুক্তিবেগ $= \sqrt{2gR}$; R = পৃথিবীর ব্যাসার্ধ]

- 14 g নাইট্রোজেন, 24 g অক্সিজেন এবং 22 g কার্বন ডাইঅক্সাইড একত্রে মিশিয়ে 8 লিটার আয়তনের একটি মিশ্রণ তৈরি করা হল। মিশ্রণের তাপমাত্রা 27°C ; মিশ্রণের চাপ কত হবে? $R_0 = 8.31 \text{ J mol}^{-1} \text{K}^{-1}$
[Ans. $5.45 \times 10^5 \text{ Nm}^{-2}$]

[সংকেত : $PV = \frac{m}{M} \cdot \frac{R_0 T}{V}$; P_1 = নাইট্রোজেন চাপ $= \frac{14}{28} \cdot \frac{R_0 T}{V}$; P_2 = অক্সিজেন চাপ $= \frac{24}{32} \cdot \frac{R_0 T}{V}$ এবং P_3 = কার্বন ডাইঅক্সাইড চাপ $= \frac{22}{44} \cdot \frac{R_0 T}{V}$; এখন, $\frac{R_0 T}{V} = \frac{8.31 \times 300}{8 \times 10^{-3}}$ । মিশ্রণের চাপ $P = P_1 + P_2 + P_3$]

- 27°C উষ্ণতায় (i) একটি অক্সিজেন অণুর রেখিক গতিশক্তি (ii) একটি অক্সিজেন অণুর মোট গতিশক্তি এবং (iii) এক মোল অক্সিজেন অণুর মোট গতিশক্তি নির্ণয় করো। [অ্যাভোগাড্রো সংখ্যা $= 6.023 \times 10^{23}$ এবং বোল্জম্যান ধ্রুবক $= 1.38 \times 10^{-16} \text{ erg}^\circ\text{C}$, অক্সিজেন অণু দ্বি-পরমাণুক]
[Ans. (i) $6.21 \times 10^{-21} \text{ J/molecule}$, (ii) $10.35 \times 10^{-21} \text{ J/molecule}$ (iii) 6233.8 joule/mol]

[সংকেত : (i) $E_1 = \frac{3}{2} KT$ (ii) $E_2 = \frac{5}{2} KT$ এবং (iii) $E_3 = N \times E_2$ সূত্র প্রয়োগ করো।]

- 100 litre আয়তনের একটি চোঙে নাইট্রোজেন গ্যাস আছে। গ্যাসের তাপমাত্রা এবং চাপ যথাক্রমে 27°C এবং 2 KPa । চোঙে 10^{-4} m^2 ক্ষেত্রফলের একটি ছিদ্র করে খোলা জায়গায় রাখা হল। ছিদ্র দিয়ে সব গ্যাস বের হয়ে যেতে কত সময় লাগবে? $R = 8.3 \text{ J K}^{-1}$; $M = 28 \times 10^{-3} \text{ kg}$.
[Ans. 3.9 s]

[সংকেত : 27°C উষ্ণতায় $c_{rms} = \sqrt{\frac{3RT}{M}} = \sqrt{\frac{3 \times 8.3 \times 300}{28 \times 10^{-3}}} = 516.5 \text{ ms}^{-1}$ । গ্যাস নির্গত হতে থাকলে,

গ্যাসের উষ্ণতা হ্রাস পাবে এবং সেই কারণে আর. এম্. এস্. গতিবেগও হ্রাস পাবে। গড় $c_{rms} = \frac{0+516.9}{2} = 258.25 \text{ ms}^{-1}$ । প্রতি সেকেন্ডে নির্গত গ্যাসের আয়তন = প্রস্থচ্ছেদ \times গড় $c_{rms} = 10^{-4} \times 258.25 \text{ ms}^{-2}$

$$\therefore \text{নির্ণেয় সময়} = \frac{100 \times 10^{-3}}{10^{-4} \times 258.25} = 3.9 \text{ s.}$$

13. যে তাপমাত্রার কোনো গ্যাসের অণুগুলির গড় রৈখিক গতিশক্তি 180°C তাপমাত্রায় ঐ অণুগুলির গড় রৈখিক গতিশক্তির $1/3$ হবে তা নির্ণয় করো। [Ans. -122°C]

$$[\text{সংকেত : } \left(\frac{3}{2} k(273+t') \right) = \frac{1}{3} \times \frac{3}{2} k(273+180)]$$

14. একটি পাত্রে 1 বায়ুমণ্ডলীয় চাপ এবং 27°C উষ্ণতায় 1 মোল অক্সিজেন আছে। অণুগুলি যদি c আর. এম্. এস্. গতিবেগে চলে তবে পাত্রের দেওয়ালের 1 বর্গমিটার ক্ষেত্রে প্রতি সেকেন্ডে অণুগুলি কতবার সংঘাত করবে তা নির্ণয় করো। [Ans. 1.97×10^{27} প্রায়]

$$[\text{সংকেত : } 1\text{m}^3 \text{ আয়তনে অণুর সংখ্যা } n = \frac{P}{KT} ; c_{rms} = \sqrt{\frac{3RT}{M}} \text{। এক সেকেন্ডে লম্বভাবে একক ক্ষেত্রফল}$$

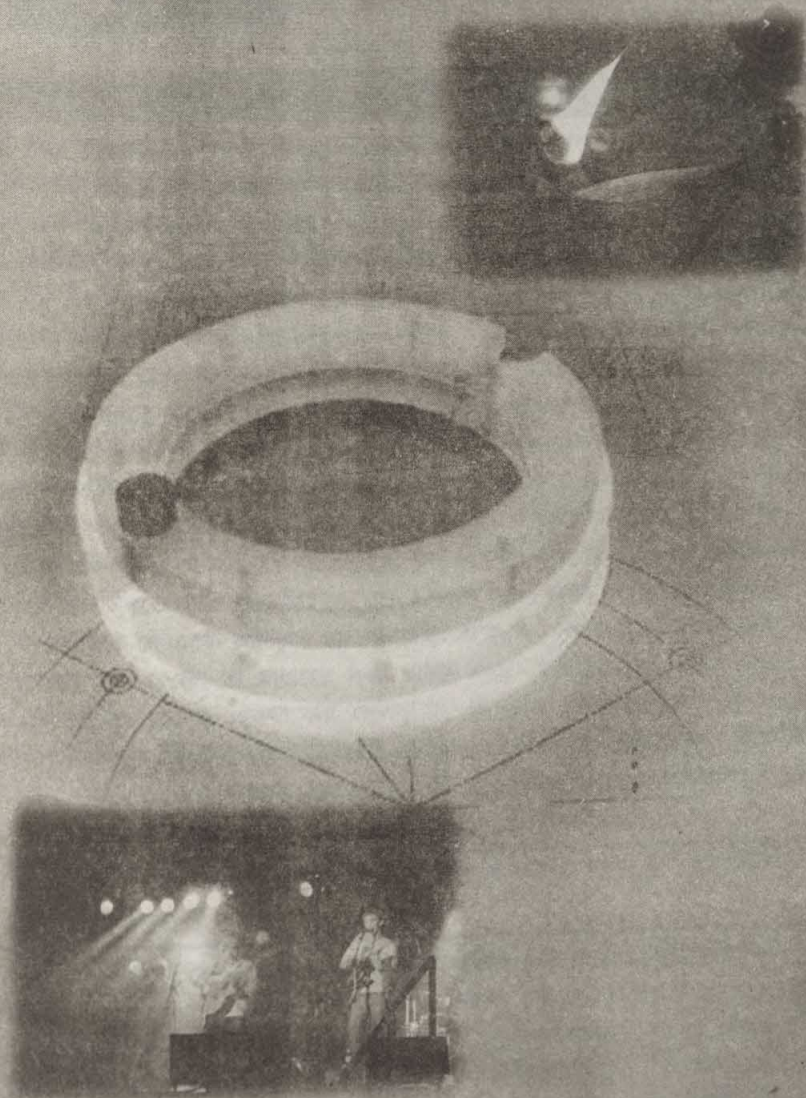
$$\text{অতিক্রমকারী অণুর সংখ্যা} = \frac{1}{6} n c_{rms}]$$

□ M.C.Q. প্রশ্নের উত্তর □

- | | | | | |
|---------|----------|----------|-----------|-----------|
| (A) | | | | |
| (i) A | (vi) C | (xi) A | (xvi) B | (xxi) A |
| (ii) D | (vii) B | (xii) B | (xvii) C | (xxii) C |
| (iii) C | (viii) B | (xiii) D | (xviii) C | (xxiii) A |
| (iv) C | (ix) D | (xiv) D | (xix) A | (xxiv) B |
| (v) A | (x) A | (xv) D | (xx) D | (xxv) B |
- (B) [i] ভর, [ii] তাপমাত্রা [iii] পরম তাপমাত্রা, [iii] $\frac{3}{2}KT$, [iv] $\sqrt{2}T$, [v] গতিশক্তি, [vi] গড় বর্গের বর্গমূল।
- (C) [i] ভুল, [ii] নির্ভুল, [iii] ভুল, [iv] নির্ভুল, [v] নির্ভুল।

তরঙ্গ ও ভৌতআলোক বিজ্ঞান

[WAVES AND PHYSICAL OPTICS]





তরঙ্গ

[WAVES]

1.1. স্থিতিস্থাপক তরঙ্গ (Elastic waves) :

একটি স্থির জলাশয়ে যদি ঢিল ফেলা যায় তবে ঢিল যেখানে জল স্পর্শ করে সেখানে একটি আলোড়নের সৃষ্টি হয়, কিন্তু আলোড়ন ঐ জায়গাতেই আবদ্ধ থাকে না—ক্রমশ ছড়িয়ে পড়ে এবং এক সময় সমস্ত জলাশয়েই আলোড়ন বিস্তৃত হয়।

যখন ঢিলটি জল স্পর্শ করে তখন ঐ স্থানের জলকণাগুলি আন্দোলিত হয়। এই জলকণাগুলি তখন পার্শ্ববর্তী স্থির জলকণাগুলিকে আন্দোলিত করে। এভাবে কণা হতে কণাতে স্থানান্তরিত হয়ে আন্দোলন (disturbance) অবশেষে জলাশয়ের কিনারায় গিয়ে পৌঁছায়। কিন্তু লক্ষ করার বিষয় এই যে, আন্দোলনের ফলে কোনো জলকণাই তার অবস্থান হতে দূরে সরে যায় না; শুধু ওপরে-নীচে পূর্ববর্তী অবস্থানকে মধ্যে রেখে পর্যায়গতিতে দুলতে থাকে। প্রত্যেক কণাগুলির এই ধরনের গতির ফলে যে আন্দোলন জলের ওপর দিয়ে চলে যায় তাকেই তরঙ্গ বলা হয়। কঠিন, তরল অথবা গ্যাস—যে-কোনো বস্তু বা মাধ্যমের অংশ বিশেষকে স্থানচ্যুত করে ছেড়ে দিলে, তার কণাগুলি পুনরায় স্বস্থানে ফিরে আসতে চেষ্টা করে। স্থানচ্যুতির ফলে বস্তুর স্থিতিস্থাপকতার জন্য উদ্ভূত বল স্থানচ্যুত কণিকাকে পূর্বের অবস্থানে ফিরিয়ে আনে কিন্তু সেখানে পৌঁছে কণিকাটি থেমে যায় না; গতি জড়তার জন্য বিপরীত দিকে স্থানচ্যুত হয়। অর্থাৎ কণিকাটি সেখানে দোলকপিণ্ডের মতো দুলতে থাকে। জড় মাধ্যমের এক কণিকার সঙ্গে অপর কণিকার সংসক্তিজনিত এব্রুপ বন্ধন ও সম্পর্ক থাকে যে একটি স্থানচ্যুত হলে অপরটিও তাকে অনুসরণ করে। ফলে মাধ্যমের কোনো অংশে আলোড়ন সৃষ্টি করলে তা মাধ্যমের সর্বত্র ছড়িয়ে পড়ে। মাধ্যমের ভিতর দিয়ে ছড়িয়ে পড়া আলোড়নকেই বলা হয় তরঙ্গ। একথা বলা বাহুল্য, যে এই তরঙ্গ স্থিতিস্থাপক তরঙ্গ (elastic waves) কারণ জড় বস্তুর স্থিতিস্থাপক ধর্মের জন্যই এই তরঙ্গের উদ্ভব হয়। স্থিতিস্থাপক তরঙ্গের ফলে মাধ্যমের কণার সরণ ঘটলেও মাধ্যমের কোনো সামগ্রিক গতি সৃষ্টি হয় না; যেমন, জলতলের উপর দিয়ে তরঙ্গ চলে গেলেও জলের কোনো প্রবাহ ঘটে না।

সংজ্ঞা : স্থিতিস্থাপক মাধ্যমের কণাগুলির সমষ্টিগত কম্পনের ফলে সৃষ্ট আন্দোলনকেই স্থিতিস্থাপক তরঙ্গ বলে।

এই প্রসঙ্গে উল্লেখযোগ্য যে কেবলমাত্র জড় মাধ্যমেই (কঠিন, তরল বা গ্যাস) স্থিতিস্থাপক তরঙ্গের উদ্ভব হয়। এই কারণে এই তরঙ্গকে অনেক সময় জড় তরঙ্গ বলা হয়। জলের উপর তরঙ্গ, বায়ুর ভিতর দিয়ে শব্দতরঙ্গ প্রভৃতি এই ধরনের স্থিতিস্থাপক জড়তরঙ্গ। আবার মাধ্যমের যান্ত্রিক গতি না থেকেও অন্য কোনো ভৌত রাশির, যথা—চৌম্বক বা তড়িৎ প্রাবল্য-সঞ্চারের ফলে আর এক রকমের তরঙ্গ উৎপন্ন হতে পারে। এরা স্থিতিস্থাপক তরঙ্গ নয়, এদের বলা হয় তড়িৎচুম্বকীয় তরঙ্গ। এই ধরনের অস্থিতিস্থাপক বা তড়িৎচুম্বকীয় তরঙ্গ (electromagnetic waves) উৎপত্তির জন্য কোনো জড় মাধ্যমের প্রয়োজন হয় না। এরা মাধ্যমের কণার কোনো সরণ সৃষ্টি করে না; কেবল মাধ্যমের বিভিন্ন

স্থানে তড়িৎ ও চৌম্বকক্ষেত্রের প্রাবল্য পর্যায়ক্রমে পরিবর্তিত হয়। আলোক তরঙ্গ, বেতারতরঙ্গ, এক্সরশি তরঙ্গ প্রভৃতি তড়িৎচুম্বকীয় তরঙ্গ শূন্য মাধ্যমে চলাচল করতে পারে। তবে এই সকল তরঙ্গ যখন জড় মাধ্যমের ভিতর দিয়ে যায় তখন তাদের গতিবেগ মাধ্যমের প্রকৃতির উপর নির্ভর করে। যেমন, বায়ু মাধ্যমে আলোর গতিবেগ কাচ মাধ্যমে গতিবেগের সমান নয়। শূন্য মাধ্যমে, অবশ্য, এদের গতিবেগ সমান এবং সর্বাধিক। বর্তমানে আমরা স্থিতিস্থাপক তরঙ্গের বিভিন্ন বিষয় আলোচনা করব।

1.2. স্থিতিস্থাপক তরঙ্গের প্রকার ভেদ (Types of elastic waves):

যে তরঙ্গ মাধ্যমের কণাগুলির সরল দোলগতির ফলে সৃষ্টি হয় তাকে সরল দোলতরঙ্গ (simple harmonic wave) বলা হয়।

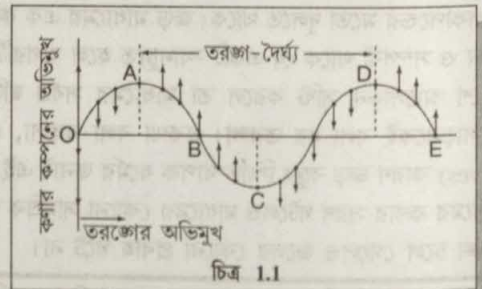
সরল দোলতরঙ্গ দুই প্রকার হতে পারে। যথা—(1) তির্যক বা অনুপ্রস্থ (transverse) তরঙ্গ ও (2) অনুদৈর্ঘ্য (longitudinal) তরঙ্গ।

● অনুপ্রস্থ বা তির্যক তরঙ্গ : কোনো স্থিতিস্থাপক মাধ্যমের কণাগুলি একই ধরনের সরল দোলগতিতে কম্পমান হয়ে যে তরঙ্গের উদ্ভব করে তা যদি কণাগুলির গতির সাথে সমকোণে অগ্রসর হয় তবে ঐ তরঙ্গকে তির্যক বা অনুপ্রস্থ তরঙ্গ বলা হয়।

কোনো মাধ্যমের ভিতর যান্ত্রিক (mechanical) তির্যক তরঙ্গ সৃষ্টি করলে তার মধ্যে কৃন্তন পীড়ন (shearing stress) ঘটে। তাই বিকৃত কঠিন মাধ্যমে তির্যক তরঙ্গকে কৃন্তন তরঙ্গ (shear wave) বলা হয়। তরল বা গ্যাসে কৃন্তন পীড়ন ঘটে না বলে কেবলমাত্র কঠিন মাধ্যমেই তির্যক তরঙ্গ উৎপন্ন করা যায়—তরল বা গ্যাসীয় মাধ্যমে তির্যক তরঙ্গের উৎপত্তি হয় না। প্রশ্ন উঠতে পারে যে, আলো তির্যক তরঙ্গ অথচ তরল ও গ্যাসের ভিতর দিয়েও আলোক তরঙ্গের বিস্তার হয়। এটা কীভাবে সম্ভব? মনে রাখা দরকার যে আলো সাধারণ স্থিতিস্থাপক তরঙ্গ (elastic waves) নয়—তড়িৎচুম্বকীয় তরঙ্গ। তড়িৎ-চুম্বকীয় তরঙ্গ কঠিন, তরল, গ্যাস এমনকি শূন্য মাধ্যমের ভিতর দিয়েও যেতে পারে।

তির্যক তরঙ্গকে 1.1 নং চিত্রের দ্বারা প্রদর্শন করানো যেতে পারে। এস্থলে কণার কম্পনের অভিমুখ তরঙ্গের গতির অভিমুখের সাথে সমকোণ করেছে।

যে মুহূর্তে O কণাটি সর্বাধিক বেগে নীচের দিকে সাম্যাবস্থান (OBE রেখা) অতিক্রম করেছে সেই মুহূর্তে অন্যান্য কণাগুলির কম্পনের অভিমুখ ছোটো ছোটো তিরচিহ্ন দ্বারা দেখানো হয়েছে। ধনাত্মক (উর্ধ্ব) দিকে সর্বাধিক সরণযুক্ত A বিন্দুকে বলা হয় তরঙ্গাংশীর্ষ (crest) ও ঋণাত্মক (নিম্ন) দিকে সর্বাধিক সরণযুক্ত C-বিন্দুকে বলা হয় তরঙ্গাপাদ (trough)। লক্ষ করবে A ও C বিন্দুদ্বয়ের গতির অবস্থা ঠিক বিপরীত। এইজন্য এদের দশাকে বলা হয় বিপরীত দশা। আবার A ও D বিন্দুদ্বয়ের দশা এক। এভাবে কণাগুলি যত কম্পিত হতে থাকবে তরঙ্গও OE রেখা বরাবর বাম হতে দক্ষিণে অগ্রসর হবে।

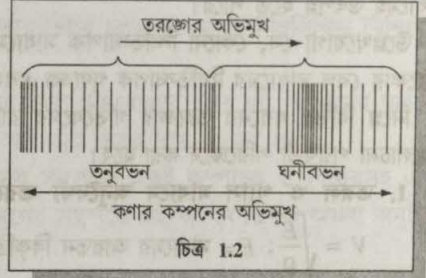


উদাহরণ : (i) একটি স্থির জলাশয়ের জলের উপর একখণ্ড কর্ক ভাসাও। এখন জলে একটি ঢিল ফেললে তরঙ্গের উদ্ভব হবে এবং আশে আশে তরঙ্গ অগ্রসর হয়ে কর্কের কাছে পৌঁছালে কর্ক আন্দোলিত হবে। লক্ষ করলে দেখবে কর্ক সর্বদা ওপর-নীচে আন্দোলিত হচ্ছে—পাশে সরে যাচ্ছে না, অথচ তরঙ্গ কর্ক ছাড়িয়ে জলতল বরাবর বিস্তৃত হয়ে পড়ছে। সুতরাং এস্থলে জলের কণাগুলির ওপর-নীচে সরল দোলগতির ফলে জলের উপর দিয়ে তরঙ্গের সৃষ্টি হল। এই তরঙ্গের গতি কণাগুলির গতির সাথে সমকোণে সম্পন্ন হয়। সুতরাং জলের উপর এই তরঙ্গকে তির্যক তরঙ্গ বলা যাবে। এইরূপ আলো, তাপ, বেতারতরঙ্গ প্রভৃতি তির্যক তরঙ্গের দৃষ্টান্ত।

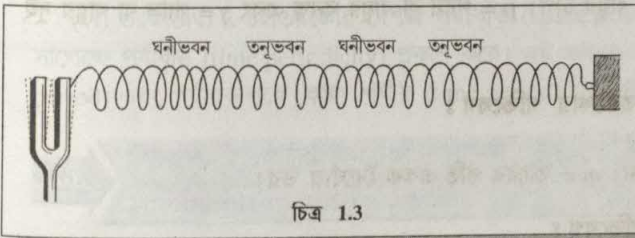
[দ্রঃ তির্যক তরঙ্গের উদাহরণ হিসাবে জলের ঢেউ-এর কথা বলা হলেও, এই তরঙ্গ প্রকৃতপক্ষে তির্যক নয়। জলের তরঙ্গে অভিকর্ষ এবং পৃষ্ঠতানের প্রভাব আছে। তা সত্ত্বেও ধোবার সুবিধার জন্য আমরা প্রাথমিক স্তরে জলের তরঙ্গকে তির্যক তরঙ্গ বলে গণ্য করব।]

● **অনুদৈর্ঘ্য তরঙ্গ :** কোনো স্থিতিস্থাপক মাধ্যমের কণাগুলি একই ধরনের সরল দোলগতিতে কম্পমান হয়ে যে তরঙ্গের সৃষ্টি করে তা যদি কণাগুলির গতির সমান্তরালে অগ্রসর হয় তবে ঐ তরঙ্গকে অনুদৈর্ঘ্য তরঙ্গ বলা হয়।

কঠিন, তরল এবং গ্যাস—তিনপ্রকার মাধ্যমেই অনুদৈর্ঘ্য তরঙ্গ সৃষ্টি করা যায়। 1.2 নং চিত্রে বায়ুমাধ্যমে অনুদৈর্ঘ্য তরঙ্গের সৃষ্টি দেখানো হয়েছে। চিত্রে একটি বায়ুস্তম্ভকে কতকগুলি সমান বায়ুস্তরে ভাগ করা হয়েছে। এই স্তরগুলির ভিতর দিয়ে অনুদৈর্ঘ্য তরঙ্গ প্রবাহিত হলে স্তরগুলি দক্ষিণে ও বামে আন্দোলিত হবে। এস্থলে মাধ্যমের কণাগুলির সরল দোলগতির অভিমুখ তরঙ্গের অভিমুখের সমান্তরাল বলে তনুভবন ও ঘনীভবনের সৃষ্টি হয়েছে অর্থাৎ কতকগুলি বায়ুস্তর ঘেঁসাঘেঁসি করে আছে যাকে বলা হয় **ঘনীভবন (compression)** এবং কতকগুলি ফাঁক ফাঁক হয়ে আছে যাকে বলা হয় **তনুভবন (rarefaction)**। বলা বাহুল্য, ঘনীভবনে স্তরগুলির ঘনত্ব ও চাপ বৃদ্ধি পায়; আবার তনুভবনে ঘনত্ব ও চাপ হ্রাস পায়।



একটি সরু কিন্তু দীর্ঘ স্প্রিং নিয়ে একপ্রান্ত একটি দৃঢ় অবলম্বনে আটকাও এবং অপর প্রান্ত একটি সুরশলাকার বাহুর সঙ্গে আবদ্ধ করো। সুরশলাকার বাহু যখন স্থির তখন স্প্রিং-এর কুণ্ডলীগুলি সুযমভাবে



অবস্থান করবে। সুরশলাকার বাহুকে কম্পিত করলে স্প্রিং-এর দৈর্ঘ্য বরাবর একটি তরঙ্গ চলে যাবে এবং স্প্রিং-এর কিছু অংশের কুণ্ডলী খুব ঘেঁসাঘেঁসি হয়ে ঘনীভবনের সৃষ্টি করবে এবং কিছু অংশের কুণ্ডলীগুলি

ফাঁক ফাঁক হয়ে তনুভবন উৎপন্ন করবে। স্প্রিং-এর দৈর্ঘ্য বরাবর এই তরঙ্গ অনুদৈর্ঘ্য তরঙ্গ [চিত্র 1.3]।

তির্যক এবং অনুদৈর্ঘ্য তরঙ্গকে সাধারণভাবে **চলতরঙ্গ** বা **প্রগামী তরঙ্গ** (progressive waves) বলা হয়; কারণ, এই তরঙ্গপ্রসূত কম্পন মাধ্যমের এক কণা হতে পরবর্তী কণাতে হস্তান্তরিত হয় এবং তরঙ্গ একযোগে সম্মুখের দিকে অগ্রসর হতে থাকে। চলতরঙ্গের বিপরীতধর্মী আর একপ্রকার তরঙ্গ আছে, তাকে বলা হয় **স্থানু তরঙ্গ** (stationary waves)। এদের সম্বন্ধে পরে আলোচনা করা হবে।

তরঙ্গ একমাত্রিক, দ্বিমাত্রিক অথবা ত্রিমাত্রিক হতে পারে। দড়ি বা স্প্রিংয়ে যে তরঙ্গের উদ্ভব হয় তা একমাত্রিক। জলের উপরিতলে যে তরঙ্গের সৃষ্টি হয়, তা দ্বিমাত্রিক। আবার কোনো উৎস হতে সৃষ্ট আলোক তরঙ্গ বা শব্দতরঙ্গ—যা চতুর্দিকে ছড়িয়ে পড়ে, তা ত্রিমাত্রিক।

1.3. মাধ্যমের প্রকৃতি (Nature of medium) :

স্থিতিস্থাপক তরঙ্গের উদ্ভব এবং চলাচলের জন্য একটি স্থিতিস্থাপক মাধ্যম প্রয়োজন। পূর্বে উল্লেখ করা হয়েছে যে, কেবলমাত্র কঠিন মাধ্যমেই তির্যক তরঙ্গ উৎপন্ন করা যায়। কঠিন পদার্থের একটি নির্দিষ্ট আকার থাকে। এই কারণে সকল কঠিন পদার্থ কম-বেশি আকার পরিবর্তনকে প্রতিরোধ করে এবং পদার্থের কোনো একটি কণার কম্পনের সমকোণে অপর কণাও আন্দোলিত হতে পারে। কাজেই কঠিন

পদার্থে তির্যক তরঙ্গের উদ্ভব হতে পারে। তরল অথবা গ্যাসীয় পদার্থের কোনো নির্দিষ্ট আকার নেই। এজন্য তাদের মধ্যে শুধু স্থিতিস্থাপক ধর্মেই তির্যক তরঙ্গের উৎপত্তি হয় না।

আবার, কঠিন, তরল এবং গ্যাস—তিনপ্রকার মাধ্যমেই অনুদৈর্ঘ্য তরঙ্গ সৃষ্টি করা যায়। কারণ কঠিন, তরল ও গ্যাস—প্রত্যেকেই আয়তন বিকৃতি প্রতিরোধ করতে পারে। তাই জড় মাধ্যমের কোনো একটি কণার কম্পনের সমান্তরালে অন্য কণাও কম্পিত হতে পারে এবং সেই কারণে অনুদৈর্ঘ্য তরঙ্গ সকল জড় মাধ্যমেই উৎপন্ন হতে পারে।

উল্লেখযোগ্য যে, কোনো স্থিতিস্থাপক মাধ্যমে যখন স্থিতিস্থাপক তরঙ্গ সৃষ্টি করা হয় তখন ঐ তরঙ্গের বেগ মাধ্যমের স্থিতিস্থাপক গুণাঙ্ক এবং ঘনত্বের উপর নির্ভর করে।

নিম্নে বিভিন্ন ধরনের তরঙ্গের গতিবেগের রাশিমালা উল্লেখ করা হল। কিছু কিছু তরঙ্গের বিস্তৃত আলোচনা পরবর্তী পরিচ্ছেদে করা হবে।

1. তরল ও গ্যাস মাধ্যমে অনুদৈর্ঘ্য তরঙ্গের গতিবেগ :

$$V = \sqrt{\frac{E}{\rho}}; E = \text{মাধ্যমের আয়তন বিকৃতি গুণাঙ্ক এবং } \rho = \text{মাধ্যমের ঘনত্ব।}$$

2. কঠিন মাধ্যমে অনুদৈর্ঘ্য তরঙ্গের গতিবেগ :

$$V = \sqrt{\frac{Y}{\rho}}; Y = \text{মাধ্যমের ইয়ং গুণাঙ্ক এবং } \rho = \text{মাধ্যমের ঘনত্ব।}$$

3. গ্যাস বা বায়ু মাধ্যমে শব্দতরঙ্গের গতিবেগ :

$$V = \sqrt{\frac{\gamma P}{\rho}}; P = \text{গ্যাস বা বায়ুর চাপ; } \rho = \text{গ্যাস বা বায়ুর ঘনত্ব এবং } \gamma = \text{গ্যাস বা বায়ুর দুই}$$

আপেক্ষিক তাপের অনুপাত।

4. টান করা তারে তির্যক তরঙ্গের গতিবেগ :

$$V = \sqrt{\frac{T}{m}}; T = \text{তারের টান; } m = \text{তারের প্রতি একক দৈর্ঘ্যের ভর।}$$

5. তড়িৎচুম্বকীয় তরঙ্গের গতিবেগ :

$$V = \sqrt{\frac{1}{\mu k}}; \mu = \text{মাধ্যমের ভেদ্যতা (permeability) এবং } k = \text{মাধ্যমের ভেদনযোগ্যতা (permittivity)}।$$

মনে রাখা প্রয়োজন যে তড়িৎচুম্বকীয় তরঙ্গ স্থিতিস্থাপক তরঙ্গ নয়। শূন্য মাধ্যমে সকল প্রকার তড়িৎচুম্বকীয় তরঙ্গের গতিবেগ সমান। এই গতিবেগ প্রায় 3×10^8 m/s.

□ EXAMPLE □

জলের তুলনায় ইস্পাতের আয়তন বিকৃতি গুণাঙ্ক ও ঘনত্ব যথাক্রমে 80 গুণ ও 8 গুণ হলে, ইস্পাতের মধ্যে শব্দের দ্রুতি নির্ণয় করো। দেওয়া আছে জলের মধ্যে শব্দের দ্রুতি = 1493 m/s. [Jt. Entrance 1995]

উঃ। কোনো পদার্থের মধ্যে শব্দের দ্রুতি $V = \sqrt{\frac{E}{\rho}}$; $E =$ স্থিতিস্থাপক গুণাঙ্ক এবং $\rho =$ ঘনত্ব।

এখন, ইস্পাতের বেলায় $V_s = \sqrt{\frac{E_s}{\rho_s}}$ এবং জলের বেলায় $V_w = \sqrt{\frac{E_w}{\rho_w}}$

$$\text{ভাগ দিলে, } \frac{V_s}{V_w} = \sqrt{\frac{E_s}{E_w} \times \frac{\rho_w}{\rho_s}} = \sqrt{80 \times \frac{1}{8}} = \sqrt{10} = 3.162$$

$$\therefore V_s = 3.162 \times V_w = 3.162 \times 1493 = 4720.87 \text{ m/s.}$$

1.4.

চলতরঙ্গের বৈশিষ্ট্য (Characteristics of progressive waves) :

তির্ঘক ও অনুদৈর্ঘ্য তরঙ্গের আলোচনা হতে সাধারণভাবে চলতরঙ্গসমূহের নিম্নলিখিত বৈশিষ্ট্যের উল্লেখ করা যেতে পারে :

(i) মাধ্যমের অংশ বিশেষের নিরন্তর আন্দোলনের ফলে চলতরঙ্গের উদ্ভব হয়। মাধ্যমের ঘনত্ব ও স্থিতিস্থাপকতা অনুযায়ী একটি বিশেষ গতিবেগে তা মাধ্যমের ভিতর দিয়ে অগ্রসর হয়।

(ii) মাধ্যমের প্রতিটি কণা তার সাম্য-অবস্থানের সাপেক্ষে একই কম্পাঙ্ক ও বিস্তারসহ একই ধরনের কম্পনে কম্পিত হয়। তরঙ্গের গতির অভিমুখের সাপেক্ষে এই কম্পন তির্ঘক অথবা অনুদৈর্ঘ্য হতে পারে।

(iii) কোনো কণার কম্পনের দশা তরঙ্গের বিস্তার-রেখা (line of propagation) বরাবর পরবর্তী কণাতে হস্তান্তরিত হয় এবং এই রেখা বরাবর দুটি কণার দশাপার্থক্য তাদের দূরত্বের সমানুপাতিক হয়।

(iv) চলতরঙ্গ এক বিন্দু হতে অন্য বিন্দুতে তরঙ্গামুখের (wave front) অভিলম্ব বরাবর শক্তি বহন করে নেয় কিন্তু এতে সামগ্রিকভাবে মাধ্যমের কোনো স্থানান্তর হয় না।

(v) চলতরঙ্গ মাধ্যম দিয়ে অগ্রসর হলে, মাধ্যমের প্রতিটি বিন্দুর চাপ এবং ঘনত্বের একই রকম পরিবর্তন হয়।

(vi) তরঙ্গদৈর্ঘ্য λ চলতরঙ্গের দেশজ পর্যাবৃত্তি (space periodicity) এবং পর্যায়কাল T সময়ের সাপেক্ষে পর্যাবৃত্তি (time periodicity) প্রকাশ করে। এই কারণে তরঙ্গদৈর্ঘ্যকে দেশ পর্যায় (space period) এবং পর্যায়কালকে কাল পর্যায় (time-period) বলা হয়।

1.5.

তরঙ্গ সম্পর্কে কয়েকটি সংজ্ঞা (Some definitions in connection with a wave) :

তরঙ্গদৈর্ঘ্য (Wavelength) : তরঙ্গের উপর অবস্থিত পরপর দুটি সমদশাসম্পন্ন কণার রৈখিক দূরত্বকে তরঙ্গদৈর্ঘ্য বলা হয়।

1.1 নং চিত্রে যে তরঙ্গের আকৃতি দেখানো হয়েছে সেখানে A এবং D অথবা B এবং E কণাদ্বয়ের দশা এক। অতএব, এই কণাদ্বয়ের ভিতরকার রৈখিক দূরত্বকে (AD অথবা BE দূরত্ব) বলা যাবে তরঙ্গদৈর্ঘ্য। লক্ষ্য করো যে, A হতে D পর্যন্ত দূরত্বের ভিতর দুটি তরঙ্গাংশ পড়ছে। সুতরাং তির্ঘক তরঙ্গের ক্ষেত্রে পরপর দুটি তরঙ্গাংশ অথবা দুটি তরঙ্গাংশের মোট দৈর্ঘ্যকে সাধারণভাবে তরঙ্গদৈর্ঘ্য বলা যায়।

অনুরূপভাবে, 1.2 নং চিত্রে যে অনুদৈর্ঘ্য তরঙ্গের আকৃতি দেখানো হয়েছে, সেখানে যে-কোনো তনুভবনের কেন্দ্রস্থলে অবস্থিত কণার দশা এবং ঠিক পরবর্তী তনুভবনের কেন্দ্রস্থলে অবস্থিত কণার দশা এক। অতএব, এই কণাদ্বয়ের ভিতরকার রৈখিক দূরত্বকে তরঙ্গদৈর্ঘ্য বলা যাবে। অনুদৈর্ঘ্য তরঙ্গের ক্ষেত্রে পরপর একটি তনুভবন ও একটি ঘনীভবনের মোট দূরত্বকে সাধারণভাবে তরঙ্গদৈর্ঘ্য ধরা যায়।

তরঙ্গ সংখ্যা (Wave number) : এক একক দৈর্ঘ্যে যে কয়টি তরঙ্গ থাকে তাকে তরঙ্গ সংখ্যা বলে। এটা তরঙ্গদৈর্ঘ্যের অন্যান্যের (reciprocal) সমান।

তরঙ্গদৈর্ঘ্য λ হলে, তরঙ্গসংখ্যা $\bar{\nu} = \frac{1}{\lambda}$.

তরঙ্গের বিস্তার (Amplitude of wave) : মধ্য অবস্থান হতে তরঙ্গ সৃষ্টিকারী কণার সর্বাধিক সরণকে তরঙ্গবিস্তার বলে। 1.1 নং চিত্রে OBE রেখা হতে A অথবা D বিন্দুর সরণ হল তরঙ্গবিস্তার।

তরঙ্গের পর্যায়কাল (Period of wave) : তরঙ্গের পর্যায়কাল তরঙ্গ সৃষ্টিকারী কম্পনশীল কণাগুলির পর্যায়কালের সমান। কাজেই, তরঙ্গের পর্যায়কাল বলতে সেই সময় বোঝায় যে সময়ে একটি পূর্ণ তরঙ্গ (1.1 নং চিত্রে A হতে D) সৃষ্টি হয়।

তরঙ্গের কম্পাঙ্ক (Frequency of wave) : এক সেকেন্ডে মাধ্যমের ভিতর যে কটি পূর্ণ তরঙ্গ সৃষ্টি হবে সেই সংখ্যাকে তরঙ্গের কম্পাঙ্ক বলে। স্পষ্টত এটা তরঙ্গ সৃষ্টিকারী কম্পনশীল কণাগুলির কম্পাঙ্কের সমান।

তরঙ্গমুখ (Wave front) : জলের উপর কোনো আন্দোলন সৃষ্টি করে তরঙ্গ উৎপন্ন করলে আমরা দেখি যে তরঙ্গগুলি বৃত্তের আকারে জলের উপর বিস্তৃত হয়। একটু লক্ষ করলে দেখা যায় যে বৃত্তগুলিতে অবস্থিত জলকণাগুলি হয় ওপরের দিকে উঠে গেছে কিংবা নীচের দিকে নেমে গেছে—অর্থাৎ তরঙ্গাংশীর্ষে অথবা তরঙ্গাপাদে অবস্থিত আছে। সুতরাং তরঙ্গাংশীর্ষে বা তরঙ্গাপাদে অবস্থিত জলকণাগুলি বৃত্তের আকারে সজ্জিত থাকে। কাজেই তরঙ্গাংশীর্ষে অবস্থিত বৃত্তাকারে সজ্জিত জলকণাগুলি সব সমদশাসম্পন্ন। তেমনি, তরঙ্গাপাদে অবস্থিত জলকণাগুলিও সমদশাসম্পন্ন। সমদশাসম্পন্ন কণাগুলির সঞ্চার পথকে (locus) তরঙ্গমুখ বলে; জলের ওপর তরঙ্গ সৃষ্টি হলে তাদের তরঙ্গমুখ বৃত্তাকার।

শুধু জলের ওপর নয়—যে-কোনো সমসত্ত্ব (homogeneous) মাধ্যমে আন্দোলন সৃষ্টি করলে, তরঙ্গ চতুর্দিকে সমান বেগে বিস্তার লাভ করে এবং আন্দোলনের কেন্দ্রবিন্দু হতে সমদূরবর্তী সকল কণাই সমদশাসম্পন্ন হয়। যদি কোনো বিশেষ তলের কথা চিন্তা না করে সমগ্র মাধ্যমের কথা বিবেচনা করা যায় তবে কোনো এক মুহূর্তে সমদশাসম্পন্ন কণাগুলি একটি গোলকের (sphere) উপর অবস্থান করবে। সুতরাং ঐ ক্ষেত্রে তরঙ্গমুখ গোলকাকৃতি (spherical) পাবে।

তরঙ্গবেগ (Wave velocity) : এক সেকেন্ডে তরঙ্গ যে দূরত্ব অতিক্রম করে তাকে তরঙ্গবেগ বলা হয়।

আমরা দেখেছি যে, কোনো মাধ্যমের ভিতর দিয়ে তির্যক বা অনুদৈর্ঘ্য—যে-কোনো তরঙ্গ চলে গেলে মাধ্যমের কণার কোনো অগ্রগতি হয় না—কণাগুলি আপন আপন মধ্য-অবস্থানের ওপর-নীচে অথবা দক্ষিণে-বামে আন্দোলিত হয়। তাহলে তরঙ্গের বেগ বলতে কিসের বেগ বোঝায়?

জলের উপর তরঙ্গের সৃষ্টি হলে আমরা দেখি যে, জলকণাগুলির ওপর-নীচে আন্দোলন হয় বটে কিন্তু বৃত্তাকার তরঙ্গমুখগুলি একটি নির্দিষ্ট বেগে সম্মুখের দিকে অগ্রসর হয়ে যায়। তরঙ্গমুখের এই বেগকেই তরঙ্গবেগ বলা হয়। মনে রাখবে, তরঙ্গবেগ এবং তরঙ্গের উপরিস্থ কোনো কণার বেগ সমান নয়।

1.6. কয়েকটি প্রয়োজনীয় সম্পর্ক (A few important relations) :

(ক) তরঙ্গবেগ, কম্পাঙ্ক ও দৈর্ঘ্যের পারস্পরিক সম্পর্ক : যদি তরঙ্গের কম্পাঙ্ক n এবং তরঙ্গদৈর্ঘ্য λ (উচ্চারণ ‘ল্যামডা’) হয়, তবে কম্পাঙ্কের সংজ্ঞানুযায়ী 1 সেকেন্ডে n সংখ্যক পূর্ণ তরঙ্গ সৃষ্টি হবে। যেহেতু প্রত্যেক তরঙ্গের দৈর্ঘ্য λ , তাই এই তরঙ্গগুলি উক্ত সময়ে অর্থাৎ 1 সেকেন্ডে $n\lambda$ দূরত্ব অতিক্রম করবে। এখন, কোনো তরঙ্গের বেগ বলতে এক সেকেন্ডে ঐ তরঙ্গ যে দূরত্ব যায় তাই বোঝায়। সুতরাং, যদি তরঙ্গবেগ V ধরা যায় তবে, $V = n\lambda$.

$$\text{তরঙ্গবেগ} = \text{কম্পাঙ্ক} \times \text{তরঙ্গদৈর্ঘ্য}।$$

$$\text{আবার, } n = \frac{1}{T} \therefore V = n\lambda = \frac{\lambda}{T} \text{ অথবা, } \lambda = V.T.$$

(খ) দুই মাধ্যমে তরঙ্গবেগের মধ্যে সম্পর্ক :

ধরা যাক, A এবং B দুটি ভিন্ন মাধ্যম। A মাধ্যমে কোনো তরঙ্গের বেগ = V_A এবং B মাধ্যমে ঐ তরঙ্গের বেগ = V_B । তরঙ্গের কম্পাঙ্ক n হলে লেখা যায়, A মাধ্যমের ক্ষেত্রে $V_A = n \cdot \lambda_A$ [$\lambda_A = A$ -মাধ্যমে তরঙ্গদৈর্ঘ্য] এবং B মাধ্যমের ক্ষেত্রে $V_B = n \cdot \lambda_B$ [$\lambda_B = B$ -মাধ্যমে তরঙ্গের দৈর্ঘ্য]

ভাগ দিলে পাই, $\frac{V_A}{V_B} = \frac{\lambda_A}{\lambda_B}$ [মাধ্যমের পরিবর্তনে তরঙ্গের কম্পাঙ্কের কোনো পরিবর্তন হয় না।]

এটাই হল দুটি ভিন্ন মাধ্যমে তরঙ্গের বেগের মধ্যে পারস্পরিক সম্পর্ক।

(গ) তরঙ্গদৈর্ঘ্য ও কম্পাঙ্কের মধ্যে সম্পর্ক :

ধরা যাক, কোনো একটি মাধ্যমে দুটি ভিন্ন তরঙ্গ একই বেগে প্রবাহিত হচ্ছে। একটি তরঙ্গের কম্পাঙ্ক ও দৈর্ঘ্য যথাক্রমে n_1 এবং λ_1 এবং অপরটির n_2 এবং λ_2 । ঐ মাধ্যমে তরঙ্গবেগ V হলে, প্রথম তরঙ্গের ক্ষেত্রে $V = n_1 \lambda_1$ এবং দ্বিতীয় তরঙ্গের ক্ষেত্রে $V = n_2 \lambda_2$ ।

$$\therefore n_1 \lambda_1 = n_2 \lambda_2 \text{ অথবা, } \frac{\lambda_1}{\lambda_2} = \frac{n_2}{n_1}.$$

এটাই হল কোনো মাধ্যমে দুটি তরঙ্গদৈর্ঘ্য ও দুটি কম্পাঙ্কের মধ্যে পারস্পরিক সম্পর্ক।

□ EXAMPLES □

1. জলের উপরে 580 cm দীর্ঘ তরঙ্গ সৃষ্টি করা হল। জলে তরঙ্গের বেগ 145,000 cm/s হলে ওই তরঙ্গের কম্পাঙ্ক কত হবে?

উঃ। এস্থলে $\lambda = 580 \text{ cm}$; $V = 145,000 \text{ cm/s}$; $n = ?$

$$\text{এখন, } V = n \cdot \lambda \text{ অথবা, } n = \frac{V}{\lambda} \therefore n = \frac{145,000}{580} = 250.$$

2. একটি সুরশলাকার কম্পাঙ্ক 256; সুরশলাকার 16 বার কম্পনে যে সময় লাগে সেই সময়ে শব্দ 20 metre দূরত্ব যায়। ঐ শব্দের তরঙ্গদৈর্ঘ্য এবং বেগ নির্ণয় করো।

উঃ। ধরো, শব্দতরঙ্গের দৈর্ঘ্য = λ metre; সুতরাং সুরশলাকার একবার কম্পনে শব্দ λ metre

দূরত্ব যাবে। কাজেই $16\lambda = 20$ বা, $\lambda = \frac{20}{16} = \frac{5}{4} \text{ m}$ আবার, $n = 256$, $V = ?$

$$\text{এখন, } V = n\lambda = 256 \times \frac{5}{4} = 320 \text{ m/s}.$$

3. একটি জলের ট্যাঙ্কে ছোটো একটি কর্ক ভাসছে। ছোটো ছোটো তরঙ্গ জলের উপর দিয়ে চলে গেলে কর্ক টুকরো ওপর-নীচে আন্দোলিত হয়। তরঙ্গের গতিবেগ 0.2 m/s, দৈর্ঘ্য 15 mm ও বিস্তার 5 mm হলে, কর্ক টুকরোর সর্বাধিক গতিবেগ কত?

উঃ। তরঙ্গ প্রবাহিত হলে, কর্ক টুকরো তরঙ্গের বিস্তার ও কম্পন নিয়ে ওপর-নীচে আন্দোলিত হবে।

এখন, তরঙ্গের ক্ষেত্রে $V = n\lambda$; এক্ষেত্রে $V = 0.2 \text{ m/s}$; $\lambda = \frac{15}{1000} \text{ metre}$. অতএব,

$$n = \frac{V}{\lambda} = \frac{0.2 \times 1000}{15}$$

$$\text{কিন্তু কর্ক টুকরো সর্বাধিক গতিবেগ } v_{\max} = a \cdot \omega = 2\pi \cdot n \cdot a = 2 \times \frac{22}{7} \times \frac{0.2 \times 1000}{15} \times \frac{5}{1000}$$

$$= 0.42 \text{ m/s (প্রায়)} = 42 \text{ cm/s (প্রায়)}.$$

৪. সুরশলাকার একটি বাহুর সঙ্গে একটি হালকা সূচক যুক্ত করে শলাকাকে এরূপভাবে বসানো হল যে সূচক একটি খাড়া পাতকে স্পর্শ করে থাকে। শলাকাকে কম্পিত করার সঙ্গে সঙ্গে পাতটিকে অবধে নীচে পড়তে দেওয়া হল। পাতটি যে সময়ে 10 cm দূরত্ব নীচে পড়ল সেই সময়ে সূচক পাতের উপর ৪টি পূর্ণ তরঙ্গ অঙ্কন করল। সুরশলাকার কম্পাঙ্ক কত?

উঃ। ধরো, পাতটি 10 cm নীচে পড়তে t সেকেন্ড সময় নিল। তাহলে $h = \frac{1}{2} g t^2$ সমীকরণ হতে পাই, $10 = \frac{1}{2} \times 980 \times t^2$ অথবা, $t^2 = \frac{1}{49}$ অথবা, $t = \frac{1}{7}$ সেকেন্ড।

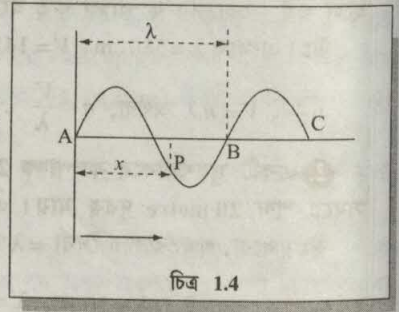
এ সময়ে ৪টি পূর্ণ তরঙ্গ তৈরি হওয়ায়, সুরশলাকা $\frac{1}{7}$ সেকেন্ডে ৪ বার পূর্ণ কম্পন সম্পন্ন করে।
অতএব সুরশলাকার কম্পাঙ্ক $= 8 / \frac{1}{7} = 56 \text{ Hz}$ ।

1.7.

চলতরঙ্গের বা প্রগামী তরঙ্গের বীজগাণিতিক সমীকরণ (Algebraic equation of a progressive wave):

মাধ্যমের কণাগুলির সরল দোলগতি হলে, চলতরঙ্গের উদ্ভব হয়। আমরা এখন এই চলতরঙ্গের গাণিতিক সমীকরণ নির্ণয় করব।

যখন চলতরঙ্গ মাধ্যমের ভিতর দিয়ে অগ্রসর হয় তখন মাধ্যমের কণাগুলি সরল দোলগতিতে কম্পমান হয়। যেহেতু এক কণা হতে পরবর্তী কণাতে আন্দোলন পৌঁছোতে একটি নির্দিষ্ট সময় লাগে, সেইহেতু তরঙ্গের অভিমুখ বরাবর কণাগুলির দশার ক্রমাবনতি (gradual fall) ঘটে। যদি তরঙ্গ বামদিকে হতে দক্ষিণে যায়, তবে বামদিকের কোনো কণা আন্দোলিত হবার কিছুক্ষণ পরে দক্ষিণ দিকের কণা আন্দোলিত হবে। ফলে, তাদের ভিতর দশার পার্থক্য ঘটবে। এইরূপ, যতই দক্ষিণ দিকে যাওয়া যাবে ততই আন্দোলন পরপর দক্ষিণ দিকের কণাগুলিতে সঞ্চারিত হবে এবং প্রতি দুটি পরপর কণার ভিতর দশাপার্থক্য দেখা যাবে।



চিত্র 1.4

মনে করো, একটি চলতরঙ্গ A হতে C অভিমুখে প্রবাহিত হচ্ছে [চিত্র 1.4]। যেহেতু মাধ্যমের কণাগুলির কম্পন সরল দোলগতি পর্যায়ের, সেইহেতু A কণার গতিকে নিম্নলিখিত সমীকরণ দ্বারা প্রকাশ করা যাবে : $y = a \sin \omega t$ । এস্থলে a = কণার কম্পনের বিস্তার; $y = t$ অবকাশ পরে ABC রেখা হতে কণার সরণ এবং ω = কণার কৌণিক গতিবেগ।

যদি কণার কম্পাঙ্ক n হয়, তবে $\omega = 2\pi n$;
কাজেই, $y = a \sin 2\pi n t$ ।

তরঙ্গের চিত্র হতে দেখা যায় যে, যখন A কণা মধ্য-অবস্থান অতিক্রম করে, তখন B কণাটিও একই অভিমুখে মধ্য-অবস্থান অতিক্রম করে—অর্থাৎ, উক্ত কণাদুটি সমদশাসম্পন্ন। সমদশাসম্পন্ন পরপর দুটি কণার দূরত্ব হল তরঙ্গদৈর্ঘ্য। এস্থলে তরঙ্গদৈর্ঘ্য $= \lambda = AB$ দূরত্ব। এখন A হতে B বিন্দুতে যাবার সময় কণার 2π দশা পরিবর্তন হয় (অথবা কণাদুটি সমদশাসম্পন্ন হয়)।

অতএব, A বিন্দু হতে x দূরে অপর একটি বিন্দু P-তে যাবার কালে দশার পরিবর্তন $\delta = \frac{2\pi x}{\lambda}$ কাজেই, P-বিন্দুতে অবস্থিত কণার সরণ δ হলে,

$$\begin{aligned}
 \xi &= a \sin(\omega t - \delta) = a \sin\left(2\pi nt - \frac{2\pi x}{\lambda}\right) \\
 &= a \sin\left(\frac{2\pi Vt}{\lambda} - \frac{2\pi x}{\lambda}\right) \quad [\because \text{তরঙ্গবেগ } V = n\lambda] \\
 &= a \sin \frac{2\pi}{\lambda} (Vt - x) \dots\dots (i)
 \end{aligned}$$

এখন তরঙ্গের সমীকরণ বলতে মাধ্যমের যে-কোনো বিন্দুর স্থানাঙ্ক, সময় এবং ঐ বিন্দুতে বস্তুকণার সরণের সম্পর্ক বোঝায়। (i) নং সমীকরণ হতে আমরা x -অক্ষ (অর্থাৎ ABC রেখা) বরাবর স্থাপিত P বিন্দুর [যার স্থানাঙ্ক $x, 0$] t সময়ে সরণ (ξ) পাই। অতএব, উপরিউক্ত সমীকরণই চলতরঙ্গের বীজগাণিতিক সমীকরণ।

অনুরূপভাবে, বিপরীতমুখী (অর্থাৎ $-x$ অভিমুখে) চলতরঙ্গের সমীকরণ হবে

$$\xi = a \sin \frac{2\pi}{\lambda} (Vt + x) \dots\dots (ii)$$

(i) অথবা (ii) নং সমীকরণ লক্ষ করলে বোঝা যায় যে চলতরঙ্গের গতিপথে অবস্থিত কোনো কণার সরণ ξ -এর পরিবর্তন কণার স্থানাঙ্ক x এবং সময় t সাপেক্ষে পর্যাবৃত্ত। নির্দিষ্ট স্থানাঙ্কযুক্ত কোনো কণার বিভিন্ন সময়ে সরণের লেখচিত্র [$(\xi - t)$ লেখ] আঁকলে তা সাইনসদৃশ (sinusoidal) লেখ হবে; আবার নির্দিষ্ট সময়ে বিভিন্ন স্থানাঙ্কযুক্ত কণার সরণের লেখচিত্র [$(\xi - x)$ লেখ] আঁকলে তাও সাইনসদৃশ লেখ হবে।

● চলতরঙ্গ সমীকরণের কয়েকটি বিকল্প রূপ (A few alternative forms of progressive wave equation) :

(a) তরঙ্গের বেগ V , তরঙ্গদৈর্ঘ্য λ এবং বিস্তার a হলে, আমরা দেখলাম,

$$\xi = a \sin \frac{2\pi}{\lambda} (Vt \mp x) \dots\dots (i)$$

(b) তরঙ্গের কম্পাঙ্ক n হলে, $V = n\lambda$; অতএব,

$$\xi = a \sin \frac{2\pi}{\lambda} (n\lambda t \mp x) = a \sin 2\pi \left(nt \mp \frac{x}{\lambda} \right) \dots\dots (ii)$$

(c) $\xi = a \sin(2\pi nt \mp 2\pi \frac{x}{\lambda}) = a \sin(\omega t \mp kx) \dots\dots (iii)$ যেখানে $k = \frac{2\pi}{\lambda}$; k -কে বলা হয় বিস্তার ধ্রুবক (propagation constant) অথবা তরঙ্গ ভেক্টর (wave vector)।

(d) তরঙ্গের পর্যায়কাল T হলে $n = \frac{1}{T}$; অতএব,

$$\xi = a \sin 2\pi \left(\frac{t}{T} \mp \frac{x}{\lambda} \right) \dots\dots (iv)$$

(e) আবার, $V = n\lambda$ অথবা, $\frac{V}{\lambda} = n$; এই মান (i) নং সমীকরণে বসালে পাই,

$$\xi = a \sin \frac{2\pi V}{\lambda} \left(t \mp \frac{x}{V} \right) = a \sin 2\pi n \left(t \mp \frac{x}{V} \right) \dots\dots (v)$$

(ii), (iii), (iv) এবং (v) সমীকরণগুলি চলতরঙ্গের বিকল্প সমীকরণ।

[দ্রষ্টব্য : (a) (iv) নং সমীকরণ থেকে পাই $\xi = a \sin 2\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda} \right) = a \sin \left(\frac{2\pi t}{T} - \frac{2\pi x}{\lambda} \right)$

তরঙ্গের কোনো নির্দিষ্ট বিন্দুর বেলায় x ধ্রুবক। অতএব,

$$\xi = a \sin \left(\frac{2\pi t}{T} - \text{ধ্রুবরাশি} \right)$$

এই সমীকরণ থেকে বোঝা যায় t -এর বদলে $(t+T)$ অথবা $(t+2T)$ অথবা $(t+3T)$ ইত্যাদি বসালে ξ -এর মান অপরিবর্তিত থাকে। অর্থাৎ সরণ- ξ সময় t -এর সাথে সরল সমজ্ঞাসভাবে পরিবর্তিত হয়। তরঙ্গের এই বৈশিষ্ট্যকে তরঙ্গের সময় পর্যাবৃত্ত (time periodicity) বলা হয়।

(b) আবার, কোনো এক নির্দিষ্ট সময়ে t ধ্রুবক হয়। সেক্ষেত্রে

$$\xi = a \sin \left(\text{ধ্রুবরাশি} - \frac{2\pi x}{\lambda} \right)$$

এই সমীকরণ হতে জানা যায় যে x -এর বদলে $(x+\lambda)$ অথবা $(x+2\lambda)$ অথবা $(x+3\lambda)$ ইত্যাদি বসালে ξ -এর মান অপরিবর্তিত থাকে। অর্থাৎ সরণ- ξ দূরত্ব x -এর সাথে সরল সমজ্ঞাসভাবে পরিবর্তিত হয়। তরঙ্গের এই বৈশিষ্ট্যকে দেশ-পর্যাবৃত্ত (space periodicity) বলা হয়।

(c) লক্ষ্য কর যে t -এর মান বৃদ্ধি পেয়ে $(t+\Delta t)$ এবং x -এর মান বৃদ্ধি পেয়ে $(x+v\Delta t)$ হলেও ξ -এর মান অপরিবর্তিত থাকে।

এথেকে বলা যায় যে-কোনো বিন্দুতে তরঙ্গের দরুন আন্দোলনের প্রকৃতি ঐ বিন্দু হতে $(v.\Delta t)$ দূরে অন্য এক বিন্দুতে Δt সময় পরপর পুনরাবৃত্ত (repeated) হবে। সুতরাং তরঙ্গ যে গতিবেগে সম্মুখের দিকে

অগ্রসর হবে তা $= \frac{v.\Delta t}{\Delta t} = v$ ।]

● কণার গতিবেগ ও ত্বরণ :

আমরা দেখেছি মাধ্যমের ভিতর দিয়ে তির্যক তরঙ্গ $\pm x$ অভিমুখে অগ্রসর হলে মাধ্যমের কণাগুলি অভিলম্ব $\pm y$ দিকে সরল দোলগতিতে আন্দোলিত হয়। কণাগুলির গতিবেগ সময়ের সঙ্গে পরিবর্তিত হয়। পূর্বে উল্লেখ করা হয়েছে তরঙ্গের গতিবেগ এবং কণার গতিবেগ সমান নয়। কোন মাধ্যমে তরঙ্গের গতিবেগের একটি নির্দিষ্ট মান থাকে। আমরা এখন, কণার গতিবেগ এবং ত্বরণ নির্ণয় করব।

x -অভিমুখে অগ্রসরমান তির্যক তরঙ্গের সাধারণ সমীকরণ : $\xi = a \sin \frac{2\pi}{\lambda} (Vt \pm x) \dots (i)$

বলা বাহুল্য, যে V তরঙ্গের গতিবেগ প্রকাশ করছে।

মূলবিন্দু (1.5 নং চিত্রে A বিন্দু) থেকে x দূরে অবস্থিত কণার t সময়ে গতিবেগ v হলে,

$$\begin{aligned} v = \frac{d\xi}{dt} &= \frac{d}{dt} \left[a \sin \frac{2\pi}{\lambda} (Vt \pm x) \right] \\ &= a \cos \frac{2\pi}{\lambda} (Vt \pm x) \frac{d}{dt} \left[\frac{2\pi}{\lambda} (Vt \pm x) \right] \\ &= a \cos \frac{2\pi V}{\lambda} \cos \frac{2\pi}{\lambda} (Vt \pm x) \\ &= \frac{2\pi a}{\lambda} \cdot V \cos \frac{2\pi}{\lambda} (Vt \pm x) \dots (ii) \end{aligned}$$

(ii) নং সমীকরণের $\cos \frac{2\pi}{\lambda} (Vt \pm x)$ এই রাশির উপস্থিতি বুঝিয়ে দেয় কণার গতিবেগ 0 এবং $\frac{2\pi a}{\lambda} V$

এর মধ্যে বিভিন্ন মান পায় এবং সর্বাধিক গতিবেগ $v_{max} = \frac{2\pi a}{\lambda} V$

লক্ষ কর কণার গতিবেগ পরিবর্তনশীল ; কণার গতিপথের মধ্য-অবস্থানে গতিবেগ সর্বাধিক এবং দুই প্রান্তীয় অবস্থানে শূন্য কিন্তু তরঙ্গের গতিবেগ V সর্বদা স্থির।

সরণ ξ এবং দূরত্ব x -এর ভিতর লেখ আঁকলে সরণ লেখচিত্র (displacement curve) পাওয়া যায়। এই লেখচিত্রের নতি (slope) = $d\xi/dx$, এখন (i) নং সমীকরণ থেকে

$$\frac{d\xi}{dx} = -a \frac{2\pi}{\lambda} \cos \frac{2\pi}{\lambda} (Vt \pm x) \text{ [(ii) নং সমীকরণ থেকে]} \therefore v = \pm V \frac{d\xi}{dx}$$

অর্থাৎ, কণার গতিবেগ = \pm তরঙ্গের গতিবেগ \times সরণ লেখচিত্রের নতি।

● কণার ত্বরণ :

$$t \text{ সময়ে কণার ত্বরণ } f \text{ হলে } f = \frac{dv}{dt} = \frac{d}{dt} \left[\frac{2\pi a}{\lambda} V \cos \frac{2\pi}{\lambda} (Vt \pm x) \right]$$

$$= - \left(\frac{2\pi V}{\lambda} \right)^2 a \sin \frac{2\pi}{\lambda} (Vt \pm x)$$

$$= - \left(\frac{2\pi V}{\lambda} \right)^2 y \text{ [(i) নং সমীকরণের সাহায্যে]}$$

কণার ত্বরণও পরিবর্তনশীল। গতিপথের মধ্য-অবস্থানে ($\xi = 0$) ত্বরণ শূন্য এবং দুই প্রান্তীয় অবস্থানে সর্বাধিক।

□ EXAMPLE □

1. একটি তির্যক তরঙ্গের সমীকরণ $y = y_0 \sin 2\pi \left(ft - \frac{x}{\lambda} \right)$ । মাধ্যমের কণার সর্বাধিক বেগ তরঙ্গের বেগের চারগুণ হলে, দেখাও যে $1 = \frac{\lambda}{2} y_0$ ।

উঃ। তির্যক তরঙ্গের সমীকরণ : $y = y_0 \sin 2\pi \left(ft - \frac{x}{\lambda} \right) \dots (i)$

$$\therefore y = y_0 \sin \frac{2\pi}{\lambda} (\lambda f t - x)$$

এখন, তির্যক তরঙ্গের সাধারণ সমীকরণ : $y = a \sin \frac{2\pi}{\lambda} (Vt - x)$

উক্ত সমীকরণ দুটি তুলনা করলে পাই তরঙ্গের বিস্তার $a = y_0$ এবং তরঙ্গবেগ $V = \lambda f$ ।

এখন, কণার বেগ $v = \frac{dy}{dt} = 2\pi f y_0 \cos 2\pi \left(ft - \frac{x}{\lambda} \right)$ [(i) নং সমীকরণকে অবকলন করে]

কণার সর্বাধিক বেগ $v_{max} = 2\pi f y_0$

প্রশ্নানুযায়ী, $2\pi f y_0 = 4V = 4\lambda f \therefore 1 = \frac{\pi}{2} y_0$ ।

1.8. চলতরঙ্গের ধর্ম (Properties of progressive waves) :

তির্যক অথবা অনুদৈর্ঘ্য—যে-কোনো চলতরঙ্গের নিম্নলিখিত ধর্ম আছে।

(ক) প্রতিফলন (reflection) : একটি মাধ্যমের ভিতর দিয়ে এসে অপর একটি মাধ্যমে তরঙ্গ আপতিত হলে, তরঙ্গের এক অংশ আবার প্রথম মাধ্যমে ফিরে আসে। এই ঘটনাকে তরঙ্গের প্রতিফলন

বলে। 1.11 নং অনুচ্ছেদে শব্দতরঙ্গের প্রতিফলন সম্বন্ধে আলোচনা করা হয়েছে।

(খ) প্রতিসরণ (Refraction) : চলতরঙ্গ এক মাধ্যমের ভিতর দিয়ে অগ্রসর হয়ে যদি ভিন্ন ঘনত্বের অপর এক মাধ্যমে প্রবেশ করতে চায়, তবে মাধ্যমদ্বয়ের বিভেদতলে তরঙ্গের কিছু অংশ দিক্ পরিবর্তন করে দ্বিতীয় মাধ্যমে প্রবাহিত হয়। এই ঘটনাকে তরঙ্গের প্রতিসরণ বলে। 1.15 নং অনুচ্ছেদে এই প্রসঙ্গ আলোচিত হয়েছে।

(গ) ব্যতিচার (Interference) : একই কম্পাঙ্ক ও বিস্তারের অথবা একই কম্পাঙ্ক ও সামান্য পৃথক বিস্তারের দুটি চলতরঙ্গ একে আর একের উপর আপতিত হলে, ব্যতিচার সৃষ্টি হয়। এই ঘটনা তরঙ্গের একটি ধর্ম। 1.8 অনুচ্ছেদ এই ঘটনার আলোচনা করা হয়েছে।

(ঘ) অপবর্তন (Diffraction) : কোনো প্রতিবন্ধকের ধার ঘেঁসে চলতরঙ্গ ঝাড়ুরেখায় না গিয়ে সামান্য ঘুরে বক্রপথে যায়। তরঙ্গের বাঁক ঘোরার এই ক্ষমতাকে অপবর্তন বলা হয়। শব্দতরঙ্গের অপবর্তন ক্ষমতা খুব বেশি।

(ঙ) সমবর্তন (Polarisation) : তির্যক তরঙ্গ বিস্তার লাভ করার সময় মাধ্যমের কণাগুলি তরঙ্গগতির অভিমুখের সঙ্গে সমকোণে আন্দোলিত হয়। যদি কণাগুলির আন্দোলন তরঙ্গ-প্রবাহের অভিমুখে লম্বতলে একটি নির্দিষ্ট দিকে সীমাবদ্ধ থাকে তবে তাকে তরঙ্গের সমবর্তন বলে। আলোক তরঙ্গের সমবর্তন হয়। বায়ুমাধ্যমে শব্দতরঙ্গ তির্যক নয় বলে শব্দতরঙ্গের সমবর্তন হয় না।

(চ) বিক্ষেপণ (Scattering) : প্রবাহিত হবার সময় চলতরঙ্গ যখনই কোনো বস্তুকণার উপর পড়ে তখন ঐ কণা পরবশ কম্পনে কম্পিত হয়। কম্পিত কণা তখন তরঙ্গের গোঁণ উৎসরূপে কাজ করে চতুর্দিকে তরঙ্গ ছড়িয়ে দেয়। এই ঘটনাকে তরঙ্গের বিক্ষেপণ বলে।

□ EXAMPLES □

1. একটি চলতরঙ্গের সমীকরণ : $y = 4 \sin 2\pi \left(\frac{t}{0.02} - \frac{x}{400} \right)$; এখানে x -সেন্টিমিটারে, y মিটারে এবং t সেকেন্ডে প্রকাশ করা হয়েছে। (i) তরঙ্গের বিস্তার, (ii) তরঙ্গের কম্পাঙ্ক নির্ণয় করো।

উঃ। চলতরঙ্গের ক্ষেত্রে সাধারণ সমীকরণ $y = a \sin \left(2\pi nt - \frac{2\pi x}{\lambda} \right)$

[পূর্ব অনুচ্ছেদে (ii) নং সমীকরণ]

এখন, পর্যায়কাল $T = \frac{1}{n}$; অতএব, $y = a \sin 2\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda} \right)$

প্রদত্ত তরঙ্গের সমীকরণ $y = 4 \sin 2\pi \left(\frac{t}{0.02} - \frac{x}{400} \right)$

এই সমীকরণ দুটি তুলনা করলে দেখা যায় যে প্রদত্ত তরঙ্গের বিস্তার $a = 4 \text{ metre}$; তরঙ্গদৈর্ঘ্য

$\lambda = 400 \text{ cm} = 4 \text{ metre}$; কম্পাঙ্ক $n = \frac{1}{T} = \frac{1}{0.02} = 50 \text{ Hz}$

অতএব, তরঙ্গবেগ $V = n\lambda = 50 \times 4 = 200 \text{ m/s}$.

2. একটি মাধ্যমে x -অক্ষের দিকে 2 m/s বেগে একটি চলতরঙ্গ যাচ্ছে। $x = 0$ অবস্থানে একটি কণার t সেকেন্ড সময়ে সরণ $7 \sin (10\pi t) \text{ mm}$ । $x = 60 \text{ cm}$ অবস্থানে 0.75 সেকেন্ড পরে কণার সরণ কত হবে?

উঃ। সরল দোলগতিতে সরণের সাধারণ সমীকরণ $x = a \sin \omega t$

কণার সরল দোলগতির কৌণিক কম্পাঙ্ক $\omega = 10\pi$ এবং তরঙ্গের গতিবেগ $V = 2 \text{ m/s}$.

$$\text{তরঙ্গদৈর্ঘ্য } \lambda = \frac{V}{n} = \frac{V}{\omega / 2\pi} = \frac{2\pi \times 2}{10\pi} = 0.4 \text{ metre.}$$

$x = 60 \text{ cm}$ অবস্থানে কণার কম্পনের দশা $x = 0$ অবস্থানে কণার দশা সাপেক্ষে ϕ হলে

$$\phi = \frac{2\pi}{\lambda} x = \frac{2\pi}{0.4} \times 0.6 = 3\pi \text{ পঞ্চাৎবতী।}$$

$$\begin{aligned} \text{অতএব, দ্বিতীয় কণার সরণ} &= 7 \sin(10\pi t - 3\pi) \text{ mm} \\ &= 7 \sin(10 \times \pi \times 0.75 - 3\pi) \text{ mm} \\ &= 7 \sin(4.5\pi) = 7 \text{ mm (প্রায়)।} \end{aligned}$$

3. $y = 0.25 \sin(4\pi x - 0.2\pi x)$ যেখানে x এবং $y \text{ cm}$ এবং t সেকেন্ডে প্রকাশ করা হয়েছে। এরূপ একটি তির্যক তরঙ্গ একগাছা সুতো বরাবর অগ্রসর হচ্ছে। তরঙ্গগতির অভিলম্ব দিকে সুতোর প্রত্যেকটি কণা উপর-নীচ দুলছে। $t = 0.5 \text{ s}$ পরে এবং সুতোর একপ্রান্ত হতে $x = 10 \text{ cm}$ দূরে একটি কণার গতিবেগ ও ত্বরণ নির্ণয় করো। ঐ সময় কণার অবস্থান কোথায়?

উঃ। বিস্তার A , কম্পাঙ্ক n এবং তরঙ্গদৈর্ঘ্য λ যুক্ত চলতরঙ্গের সাধারণ সমীকরণ :

$$y = A \sin\left(2\pi nt - \frac{2\pi x}{\lambda}\right); \text{ এই সমীকরণের সঙ্গে প্রণে উল্লিখিত তরঙ্গের সমীকরণ তুলনা করলে}$$

পাই, $A = 0.25 \text{ cm}$; $2\pi n = 4\pi$ অথবা, $n = 2$ এবং $\frac{2\pi}{\lambda} = 0.2\pi$ অথবা, $\lambda = 10 \text{ cm}$ । এখন, কণার

$$\text{গতিবেগ } v = \frac{dy}{dt} = 2\pi A \cdot n \cdot \cos 2\pi\left(nt - \frac{x}{\lambda}\right) = 2\pi \times 0.25 \times 2 \times \cos 2\pi\left(2t - \frac{x}{10}\right) = 2\pi \times 0.5 \times$$

$$\cos 2\pi\left(2 \times 0.5 - \frac{10}{10}\right) = \pi \cdot \cos 2\pi(1 - 1) = 3.14 \text{ cm/s. } [\because \cos 0^\circ = 1]$$

$$\text{এবং কণার ত্বরণ } a = \frac{dv}{dt} = -2\pi n A \times 2\pi n \cdot \sin 2\pi\left(nt - \frac{x}{\lambda}\right)$$

$$= -4\pi^2 \cdot n^2 \cdot A \cdot \sin 2\pi\left(2 \times 0.5 - \frac{10}{10}\right) = 0. [\because \sin 0^\circ = 0]$$

ত্বরণ শূন্য হওয়ায় বোঝা যায় যে কণা ঐ মুহূর্তে মধ্য-অবস্থান অতিক্রম করছে।

4. দুটি সরল দোলতরঙ্গের সমীকরণ নিম্নরূপ :

$$y_1 = 0.30 \sin(314t - 1.57x)$$

$$y_2 = 0.10 \sin(314t - 1.57x + 1.57)$$

উপরোক্ত তরঙ্গ দুটির দশাপার্থক্য এবং প্রাবল্যের অনুপাত নির্ণয় করো।

উঃ। তরঙ্গদ্বয়ের সমীকরণ হতে বোঝা যায় যে প্রথমটির দশা $\delta_1 = 314t - 1.57x$ এবং দ্বিতীয়টির

$$\delta_2 = 314t - 1.57x + 1.57.$$

$$\therefore \text{দশাপার্থক্য } \Delta\delta = \delta_2 - \delta_1 = 1.57 \text{ rad} = 1.57 \times \frac{180}{\pi} = 90^\circ \quad [\pi = 3.14]$$

$$\text{তরঙ্গদ্বয়ের বিস্তারের অনুপাত} = \frac{a_1}{a_2} = \frac{0.3}{0.1} = \frac{3}{1}$$

$$\therefore \text{প্রাবল্যের অনুপাত} = \frac{I_1}{I_2} = \frac{a_1^2}{a_2^2} = \left(\frac{3}{1}\right)^2 = \frac{9}{1}.$$

[দ্রঃ তরঙ্গের প্রাবল্য তরঙ্গের বিস্তারের বর্গের সমানুপাতিক।]

1.9. তরঙ্গের দশা (Phase of a wave):



সরল দোলগতির দশার ন্যায় তরঙ্গের দশাও এমন একটি রাশি যা থেকে তরঙ্গের সকল তথ্য পাওয়া যায়। 1.7 অনুচ্ছেদের (i) নং সমীকরণ হতে দেখা যায় যে তরঙ্গের $\frac{2\pi}{\lambda}(Vt - x)$ রাশিটি জানা থাকলে, তরঙ্গের সকল তথ্যই জানতে পারা যায়। কাজেই, মাধ্যমের x বিন্দুতে এবং t সময়ে তরঙ্গের

দশা $\delta = \frac{2\pi}{\lambda}(Vt - x) = \frac{2\pi t}{T} - \frac{2\pi x}{\lambda}$ [∵ $V = \frac{\lambda}{T}$] লক্ষণীয় যে তরঙ্গের দশা সময় t এবং স্থানাঙ্ক x উভয়ের উপর নির্ভর করে। অর্থাৎ কোনো এক বিশেষ বিন্দুতে ($x = \text{ধ্রুবক}$) তরঙ্গের দশা সময়ের (t) সাথে পরিবর্তিত হয়; আবার কোনো এক বিশেষ মুহূর্তে ($t = \text{ধ্রুবক}$) তরঙ্গের বিভিন্ন বিন্দুতে দশা বিভিন্ন হয়।

● (a) দূরত্বের সাথে দশার পরিবর্তন :

ধরা যাক, তরঙ্গের উৎস বিন্দু A হতে x_1 এবং x_2 দূরে দুটি বিন্দু নেওয়া হল [চিত্র 1.5]। যে-কোনো t মুহূর্তে x_1 বিন্দুতে তরঙ্গের দশা $\delta_1 = \frac{2\pi t}{T} - \frac{2\pi x_1}{\lambda}$; অনুরূপভাবে ঐ মুহূর্তে x_2 বিন্দুতে তরঙ্গের দশা

$$\delta_2 = \frac{2\pi t}{T} - \frac{2\pi x_2}{\lambda}$$

$$\therefore \text{ঐ মুহূর্তে দুই বিন্দুর ভিতর তরঙ্গের দশাপার্থক্য} \Delta\delta = \delta_1 - \delta_2 = \frac{2\pi}{\lambda}(x_2 - x_1) = \frac{2\pi}{\lambda} \cdot \Delta x$$

[x -অক্ষ বরাবর বিন্দুদ্বয়ের পথ-পার্থক্য $= \Delta x$]

$\Delta x = \frac{\lambda}{2}$ হলে অর্থাৎ পথ-পার্থক্য তরঙ্গ দৈর্ঘ্যের অর্ধেক হলে, দশাপার্থক্য $\Delta\delta = \frac{2\pi}{\lambda} \times \frac{\lambda}{2} = \pi$; অতএব, বিন্দু দুটির দশা সম্পূর্ণ বিপরীত।

আবার, $\Delta x = \lambda$ হলে, দশাপার্থক্য $\Delta\delta = \frac{2\pi}{\lambda} \times \lambda = 2\pi$; অর্থাৎ বিন্দুদ্বয়ের দশা সমান।

● (b) সময়ের সাথে দশার পরিবর্তন :

কোনো এক নির্দিষ্ট বিন্দুতে ($x = \text{ধ্রুবক}$) তরঙ্গের দশা সময়ের (t) সাথে সরল সমজস্যভাবে পরিবর্তিত হয়। ধরো, t_1 এবং t_2 সময়ে ঐ নির্দিষ্ট বিন্দুতে তরঙ্গের দশা যথাক্রমে δ_1 এবং δ_2 । তাহলে,

$$\delta_1 = 2\pi\left(\frac{t_1}{T} - \frac{x}{\lambda}\right) \text{ এবং } \delta_2 = 2\pi\left(\frac{t_2}{T} - \frac{x}{\lambda}\right)$$

$$\text{বিয়োগ করলে, } \delta_2 - \delta_1 = 2\pi\left(\frac{t_2}{T} - \frac{t_1}{T}\right) = \frac{2\pi}{T}(t_2 - t_1) \therefore \Delta\delta = \frac{2\pi}{T} \cdot \Delta t$$

যখন $\Delta t = T$ (তরঙ্গের পর্যায়কাল), $\Delta\delta = 2\pi$; সুতরাং পর্যায়কালের সংজ্ঞাস্বরূপ বলা যায় যে এটা এমন সময় যে সময়-অবকাশে (interval) মাধ্যমের কোনো নির্দিষ্ট বিন্দুতে দশাপার্থক্য হয় 2π অথবা শূন্য।

□ EXAMPLES □

1. একটি চলতরঙ্গের কম্পাঙ্ক 500 এবং গতিবেগ 350 metre/s। তরঙ্গের উপর দুটি বিন্দুর দশাপার্থক্য 60° হলে বিন্দুদ্বয়ের ভিতর দূরত্ব কত ?

উঃ। দশাপার্থক্য $(\delta_2 - \delta_1) = \Delta\delta = 60^\circ = \frac{\pi}{3}$ radian ;

$$\text{এখন, } \Delta\delta = \frac{2\pi}{\lambda} (x_2 - x_1)$$

$$\therefore (x_2 - x_1) = \frac{\Delta\delta \cdot \lambda}{2\pi} = \frac{\Delta\delta \cdot V}{2\pi \cdot n} = \frac{\pi \times 350}{3 \times 2\pi \times 500} \text{ metre} = 0.1166 \text{ m} = 11.67 \text{ cm.}$$

2. একটি প্রগামী তরঙ্গের সমীকরণ $y = 2.5 \sin (400t - 0.68x + \pi/2)$. নিম্নলিখিত বিষয়গুলি নির্ণয় করো : (i) $x = 0$ এবং $t = 0$ সময়ের দশা (ii) x -অক্ষ বরাবর 20 cm দূরত্বে অবস্থিত দুটি বিন্দুর দশাপার্থক্য (iii) 0.4 মিলিসেকেন্ডে কোনো বিন্দুতে দশার পরিবর্তন।

উঃ। তরঙ্গের সাধারণ সমীকরণ $y = a \sin \left(\frac{2\pi}{T} \cdot t - \frac{2\pi}{\lambda} \cdot x + \pi/2 \right)$

প্রদত্ত সমীকরণের সঙ্গে তুলনা করলে পাই, $\frac{2\pi}{T} = 400$ এবং $\frac{2\pi}{\lambda} = -0.68$

তাহাড়া তরঙ্গের দশা $\delta = 400t - 0.68x + \frac{\pi}{2}$

(i) $x = 0$ এবং $t = 0$ সময়ে দশা $\delta_0 = 400 \times 0 - 0.68 \times 0 + \pi/2 = \pi/2$.

(ii) 20 cm দূরত্বে দশাপার্থক্য $\Delta\delta = \frac{2\pi}{\lambda} \cdot \Delta x = -0.68 \times 20 = -13.6 \text{ rad.}$

(iii) 0.4 মিলিসেকেন্ডে দশার পরিবর্তন $\Delta\delta = \frac{2\pi}{T} \cdot \Delta t = 400 \times 0.4 \times 10^{-3} = 0.16 \text{ rad.}$

[1 মিলিসেকেন্ড = 10^{-3} সেকেন্ড]

1.10.

তির্যক ও অনুদৈর্ঘ্য তরঙ্গের মধ্যে পার্থক্য (Difference between transverse and longitudinal waves) :

তির্যক ও অনুদৈর্ঘ্য তরঙ্গের মধ্যে নিম্নলিখিত পার্থক্য বর্তমান :

তির্যক বা অনুপ্রস্থ তরঙ্গ	অনুদৈর্ঘ্য তরঙ্গ
1. কোনো স্থিতিস্থাপক মাধ্যমের কণাগুলির আন্দোলনের ফলে সৃষ্ট তরঙ্গ যদি কণাগুলির গতির অভিমুখের সমকোণে প্রবাহিত হয়, তবে ঐ তরঙ্গকে তির্যক তরঙ্গ বলা হয়।	1. কোনো স্থিতিস্থাপক মাধ্যমের কণাগুলির আন্দোলনের ফলে সৃষ্ট তরঙ্গ যদি কণাগুলির গতির সমান্তরালে প্রবাহিত হয়, তবে ঐ তরঙ্গকে অনুদৈর্ঘ্য তরঙ্গ বলা হয়।
2. তির্যক তরঙ্গের চলাচলের ফলে মাধ্যমে তরঙ্গাংশীর্ণ ও তরঙ্গপাদের উদ্ভব হয়।	2. অনুদৈর্ঘ্য তরঙ্গের চলাচলের ফলে মাধ্যমে ঘনীভবন ও তনুভবনের উদ্ভব হয়।
3. তির্যক তরঙ্গের ফলে সৃষ্ট পরপর দুটি তরঙ্গাংশীর্ণ বা তরঙ্গপাদের মধ্যবর্তী দূরত্বকে তরঙ্গদৈর্ঘ্য বলে।	3. অনুদৈর্ঘ্য তরঙ্গের ফলে সৃষ্ট একটি ঘনীভবন ও একটি তনুভবনের মিলিত দৈর্ঘ্যকে তরঙ্গদৈর্ঘ্য বলা হয়।

তির্ঘক বা অনুপ্রস্থ তরঙ্গ	অনুদৈর্ঘ্য তরঙ্গ
4. তির্ঘক তরঙ্গ কেবলমাত্র কঠিন মাধ্যমে সৃষ্টি হয়।	4. অনুদৈর্ঘ্য তরঙ্গ কঠিন, তরল ও গ্যাস—যে-কোনো প্রকার জড় মাধ্যমে সৃষ্টি হয়।
5. তির্ঘক তরঙ্গের সমবর্তন (polarisation) হয়।	5. অনুদৈর্ঘ্য তরঙ্গের সমবর্তন হয় না।
6. মাধ্যমের ভিতর দিয়ে তির্ঘক তরঙ্গ চলে গেলে, মাধ্যমে চাপের কোনো পরিবর্তন হয় না।	6. মাধ্যমের ভিতর দিয়ে অনুদৈর্ঘ্য তরঙ্গ চলে গেলে মাধ্যমে চাপের পরিবর্তন ঘটে।

1.11. তরঙ্গের প্রতিফলন (Reflection of waves):

একটি মাধ্যমের ভিতর দিয়ে যেতে যেতে চলতরঙ্গ অন্য একটি ভিন্ন ঘনত্বের মাধ্যমে আপতিত হলে তরঙ্গের কিছু অংশ প্রতিফলনের সূত্র মেনে প্রতিফলিত হয়ে প্রথম মাধ্যমে ফিরে আসে। একে প্রতিফলিত তরঙ্গ বলা হয়। দেখা গেছে প্রতিফলক সুদৃঢ় (rigid) হলে আপতিত ও প্রতিফলিত তরঙ্গের প্রকৃতি একই থাকে। অর্থাৎ অনুপ্রস্থ বা তির্ঘক তরঙ্গের বেলায় তরঙ্গাশীর্ষ প্রতিফলিত হয় তরঙ্গাশীর্ষরূপে এবং তরঙ্গাপাদ প্রতিফলিত হয় তরঙ্গাপাদরূপে; আর অনুদৈর্ঘ্য তরঙ্গের বেলায় ঘনীভবন অথবা তনুভবন প্রতিফলিত হলে তারা যথাক্রমে ঘনীভবন ও তনুভবনরূপেই ফিরে আসে। কিন্তু প্রতিফলক নমনীয় হলে বিপরীত ঘটনা ঘটে—সেখানে তরঙ্গাশীর্ষ প্রতিফলিত হলে তরঙ্গাপাদে পরিণত হয়; তেমনি তরঙ্গাপাদ প্রতিফলিত হলে তরঙ্গাশীর্ষরূপে ফিরে আসে। অনুদৈর্ঘ্য তরঙ্গের বেলায় প্রতিফলনের জন্য ঘনীভবন তনুভবনে এবং তনুভবন ঘনীভবনে রূপান্তরিত হয়। অর্থাৎ নমনীয় প্রতিফলকে প্রতিফলন হলে, তরঙ্গের π পরিমাণ দশা পরিবর্তন ঘটে।

● শব্দতরঙ্গ প্রতিফলনের সূত্র :

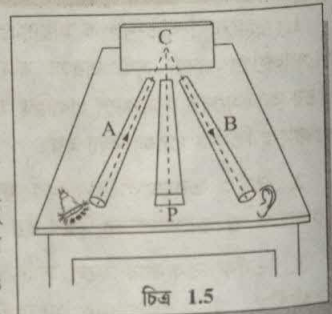
(i) আপতিত শব্দরশ্মি, প্রতিফলিত শব্দরশ্মি ও আপতন বিন্দুতে প্রতিফলক তলের উপর অঙ্কিত অভিলম্ব এক সমতলে অবস্থান করে।

(ii) আপতন কোণ ও প্রতিফলন কোণ পরস্পরের সমান হয়।

প্রতিফলনের ফলে, আপতিত ও প্রতিফলিত তরঙ্গের কম্পাঙ্ক, তরঙ্গদৈর্ঘ্য এবং বেগের কোনো পরিবর্তন হয় না।

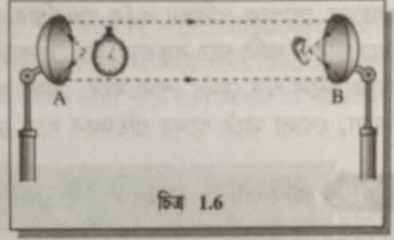
● শব্দতরঙ্গের প্রতিফলন দেখাবার পরীক্ষা :

(I) সমতল প্রতিফলক দ্বারা : 1.5 নং চিত্রে একটি কাঠের সমতল বোর্ড (C) শব্দের প্রতিফলক হিসাবে ব্যবহৃত হয়েছে। A এবং B দুটি ফাঁপা নল টেবিলের উপর অনুভূমিক অবস্থায় রাখা। দুই নলের মাঝখানে P একটি কাঠের পার্টিশান। A এবং B নলকে এমনভাবে বসাও যেন তাদের অক্ষদ্বয় (axes) C বিন্দুতে মেশে এবং CP রেখার সাথে সমান কোণ উৎপন্ন করে; অর্থাৎ $\angle PAC = \angle PCB$ । এখন A নলের খোলা মুখের সম্মুখে একটি ঘড়ি ধরে B নলের মুখে কান রাখলে স্পষ্ট টিক্ টিক্ শব্দ শোনা যাবে। যদি B নল দক্ষিণে বা বামে ঘোরানো যায় তবে আর শব্দ শোনা যাবে না। এটা প্রমাণ করে, আলোকের ন্যায় শব্দও C বিন্দুতে এমনভাবে প্রতিফলিত হয় যে, আপতন কোণ $\angle PCA$ ও



প্রতিফলন কোণ $\angle PCB$ সমান। নল দুটির মাঝখানে কাঠের ফলক P রাখার জন্য ঘড়ির শব্দ সোজাসুজি কানে পৌঁছাতে পারবে না।

(২) অবতল প্রতিফলক দ্বারা : 1.6 নং চিত্রে A এবং B দুটি অবতল প্রতিফলক মুখোমুখি রাখা আছে। A প্রতিফলকের ফোকাসে (focus) একটি ঘড়ি রেখে B প্রতিফলকের ফোকাসে কান রাখলে স্পষ্ট ঘড়ির শব্দ শোনা যাবে। কান একটু এদিক ওদিক সরালে আর শব্দ শোনা যাবে না। এস্থলে আলোকরশ্মির ন্যায় শব্দরশ্মি A প্রতিফলক দ্বারা প্রতিফলিত হয়ে প্রতিফলকের অক্ষের সমান্তরালভাবে B-এর উপর পড়ে এবং পুনরায় B কর্তৃক প্রতিফলিত হয়ে B-এর ফোকাসে একত্রিত হয়।

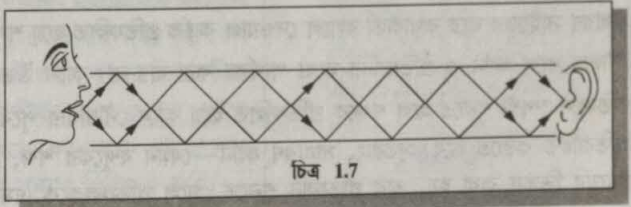


1.12.

শব্দ প্রতিফলনের ব্যবহারিক প্রয়োগ (Practical applications of reflection of sound) :

(১) মাইক্রোফোন বা লাউডস্পীকার আবিষ্কারের পূর্বে বড় হলঘরে বক্তৃতা শোনার জন্য অবতল প্রতিফলক ব্যবহৃত হত। একটি অবতল প্রতিফলকের ফোকাসে দাঁড়িয়ে বক্তৃতা করলে শব্দরশ্মি প্রতিফলক দ্বারা প্রতিফলিত হয়ে সমান্তরালভাবে হলঘরের শেষ প্রান্তে পৌঁছাবে এবং সেখানে বক্তৃতা শোনা যাবে। মাইক্রোফোন আবিষ্কারের পর অবতল প্রতিফলক আর ব্যবহার করা হয় না।

(২) বড়ো মোটরগাড়িতে আরোহী ও চালকের ভিতর কথাবার্তা বলার জন্য একপ্রকার নল ব্যবহৃত হয় [চিত্র 1.7]। একে কখন নল (speaking tube) বলে। এই নলের এক দিকে কথা বললে শব্দরশ্মি বারবার নলের ভিতরের গায়ে প্রতিফলিত হয়ে অন্যপ্রান্তে পৌঁছায় এবং ঐ প্রান্তে কান রাখলে কথা স্পষ্ট শোনা যায়।



(৩) ডাক্তারেরা রোগীর বুক পরীক্ষার জন্য যে যন্ত্র ব্যবহার করেন তা উপরিউক্ত নলের মতো কার্য করে। এই যন্ত্রকে স্টেথোস্কোপ (stethoscope) বলে। এতে দুটি নল থাকে। নল দুটি এক জায়গায় মিলিত হয়ে একটি পাতলা পর্দাযুক্ত (diaphragm) যন্ত্রের সাথে যুক্ত থাকে। এই যন্ত্র বৃককে রাখলে রোগীর হৃৎস্পন্দনের শব্দ নলের ভিতর দিয়ে বারবার প্রতিফলিত হয়ে চিকিৎসকের কানে পৌঁছায়।

(৪) তোমরা জান যে, দূরগত কোনো ক্ষীণ শব্দ স্পষ্ট শোনার জন্য আমরা আমাদের হাতের তালু বাঁকিয়ে কানের কাছে ধরি। ওইভাবে বাঁকানো হাতের তালু অবতল প্রতিফলকের কাজ করে এবং শব্দরশ্মি হাতের তালু দ্বারা প্রতিফলিত হয়ে কানে পৌঁছায়।

গ্রামোফোনের চোঙ, বশিরেরা কথা শোনার জন্য যে যন্ত্র (ear-trumpet) ব্যবহার করে সেই যন্ত্র শব্দের প্রতিফলনকে কাজে লাগিয়ে তৈরি করা হয়।

(৫) বক্তৃতা, জনসভা, সঙ্গীতের আসর প্রভৃতি অনুষ্ঠানের উদ্দেশ্যে কোনো হলঘর (auditorium) নির্মাণ করার সময় তার পরিকল্পনা বিজ্ঞানসম্মত হওয়া উচিত। শব্দবিজ্ঞানের নিয়মানুযায়ী হলঘর নির্মাণ করলে তাকে বলা হয় acoustically designed অডিটোরিয়াম। এই ধরনের হলঘরের ছাদ সমতল না করে আর্চের ন্যায় বাঁকানো থাকে। এর সুবিধা এই যে বক্তা আশে বক্তৃতা করলেও শব্দ ছাদের বিভিন্ন স্থান হতে প্রতিফলিত হয়ে শ্রোতৃবর্গের সকলের কাছে পৌঁছায় এবং সকলেই বক্তৃতা শুনতে পান। অবশ্য, দেওয়াল হতে প্রতিফলিত শব্দ মূল শব্দের সাথে মিশলে গোলমালের সৃষ্টি হবার সম্ভাবনা থাকে। তাই, দেওয়ালে নরম কাপড়ের পর্দা বুলিয়ে রাখলে বা নরম প্যাড দ্বারা দেওয়াল আবৃত রাখলে, দেওয়াল হতে শব্দের

প্রতিফলন হতে পারে না এবং দুই শব্দের মিশ্রণজনিত বিভ্রান্তিরও সৃষ্টি হবে না। হলঘর লোকভর্তি থাকলে, লোকের পোশাক-পরিচ্ছদ কর্তৃক শব্দরশ্মির শোষণের ফলে বিভ্রান্তির সম্ভাবনা অনেক কমে যায়। তাই, অপেক্ষাকৃত খালি ঘরে বক্তৃতার চেয়ে লোকভর্তি হলঘরে বক্তৃতা অনেক ভালো শোনা যায়। আবার ঘরে বক্তৃতা দিলে শব্দ যেমন শোনা যাবে, খোলা মাঠে বক্তৃতা দিলে বক্তাকে আরও জোরে বক্তৃতা দিতে হবে। কারণ, খোলা মাঠে শব্দের প্রতিফলন হতে কোনো সাহায্যই পাওয়া যাবে না।

1.13. প্রতিধ্বনি (Echo) :

রাত্রিবেলা নদীর পাড়ে দাঁড়িয়ে শব্দ করলে কিছুক্ষণ বাদে সেই শব্দের পুনরাবৃত্তি শোনার অভিজ্ঞতা হয়তো তোমাদের অনেকেরই আছে। অথবা বড় খালি হলঘরের একপ্রান্তে ধ্বনি করলে কিছুক্ষণ পরে ঠিক সেই শব্দ শোনা যায়—এটা তোমরা লক্ষ করে থাকবে। শব্দের প্রতিফলনের জন্য এরূপ শব্দের সৃষ্টি হয়।

সংজ্ঞা : প্রতিফলনের জন্য শব্দ বা ধ্বনির পুনরাবৃত্তিকে প্রতিধ্বনি বলে। প্রতিধ্বনি সৃষ্টি করার জন্য গাছের সারি, বড় বাড়ির দেওয়াল, পাহাড়ের ঢাল ইত্যাদি প্রতিফলক হিসাবে কাজ করে থাকে।

● **প্রতিফলকের ন্যূনতম দূরত্ব :** কোনো ধ্বনি কানে পৌঁছোলে সেই ধ্বনির রেশ কিছুক্ষণ যাবৎ কানে স্থায়ী হয়। একে **শব্দনির্বন্ধ** (presistence of hearing) বলে। এই সময়ের পরিমাণ $\frac{1}{10}$ সেকেন্ড। সাধারণ সাইজের ঘরে কথাবার্তা বললে দেওয়াল কর্তৃক প্রতিফলিত হয়ে শব্দ $\frac{1}{10}$ সেকেন্ডের ভিতর কানে পৌঁছায় বলে ধ্বনি ও প্রতিধ্বনির মধ্যে পার্থক্য করা যায় না। কানে উভয়েই এক শব্দ বলে মনে হয়। প্রতিধ্বনি স্পষ্ট শুনতে হলে শব্দকে প্রতিফলিত হয়ে কানে পৌঁছাবার পূর্বে কমপক্ষে $\frac{1}{10}$ সেকেন্ড সময় অতিবাহিত করতে হবে। সুতরাং, সাধারণ ধ্বনি—যেমন বন্দুকের শব্দ, হাততালি ইত্যাদি যা খুব অল্প সময়ের ভিতর করা হয়, তার প্রতিধ্বনি শুনতে গেলে প্রতিফলককে এমন দূরে রাখতে হবে যে ধ্বনি প্রতিফলক পর্যন্ত গিয়ে প্রতিফলিত হয়ে পুনরায় শ্রোতার কানে পৌঁছানো পর্যন্ত অন্তত $\frac{1}{10}$ সেকেন্ড অতিবাহিত হয়। যদি শব্দের বেগ প্রতি সেকেন্ডে 330 metre ধরা যায় তবে উক্ত $\frac{1}{10}$ সেকেন্ডে শব্দ মোট 33 m যাবে। সুতরাং, প্রতিফলককে শ্রোতা হতে অন্তত $\frac{33}{2} = 16.5$ m দূরে রাখতে হবে।

● **বোধগম্য শব্দের প্রতিধ্বনি :** কোনো বোধগম্য (articulate) শব্দের প্রতিধ্বনি শুনতে হলে প্রতিফলককে আরও দূরে রাখতে হবে। কারণ, দেখা গেছে, মানুষ সেকেন্ডে পাঁচটি পদাংশের (syllable) বেশি উচ্চারণ করতে পারে না। সুতরাং একমাত্রিক (mono-syllabic) শব্দের বেলাতে ধ্বনি ও প্রতিধ্বনির ভিতর ন্যূনতম সময়ের ব্যবধান দিতে হবে $\frac{1}{5}$ সেকেন্ড। উক্ত সময়ে শব্দ মোট $330 \times \frac{1}{5} = 66$ m যায়। সুতরাং, একমাত্রিক ধ্বনির বেলাতে প্রতিফলকের দূরত্ব কমপক্ষে $\frac{66}{2} = 33$ m হওয়া দরকার। তেমনি দ্বিমাত্রিকের বেলাতে দূরত্ব এর দ্বিগুণ, ত্রিমাত্রিকের বেলাতে প্রায় তিনগুণ ইত্যাদি প্রয়োজন।

● **একাধিক প্রতিধ্বনি (Multiple echoes) :** কখনও কখনও ধ্বনির বারবার প্রতিফলনের জন্য একবার শব্দ করে অনেকগুলি প্রতিধ্বনি শোনা যায়। দুই সমান্তরাল পাহাড়ের মাঝখানে দাঁড়িয়ে ধ্বনি করলে ঐ শব্দ বারবার দুই পাহাড় দ্বারা প্রতিফলিত হয়ে শ্রোতার কানে পৌঁছায়। ফলে একাধিক প্রতিধ্বনি শোনা যায়। এদের তীব্রতা ক্রমশ হ্রাস পেয়ে অবশেষে মিলিয়ে যায়। ফ্রান্সের ভার্দুন শহরের কাছে প্রায় 46 m দূরত্বে দুটি সমান্তরাল দেওয়াল আছে যার মাঝখানে দাঁড়িয়ে শব্দ করলে অন্তত 12 বার প্রতিধ্বনি শোনা যায়। অনেক প্রাচীন গির্জা বা মন্দিরেও এরূপ একাধিক প্রতিধ্বনি শোনা যায়। মেঘের গুরুগুরু ধ্বনি বিভিন্ন উচ্চতায় মেঘের স্তর কর্তৃক শব্দের বারবার প্রতিফলনের জন্য হয়।

● **অনুরণন :** খালি বড়ো হলঘরে শব্দ করলে দেখা যায় ঐ শব্দ থেকে যাবার পরও অনেকক্ষণ ধরে সেই শব্দের রেশ গম্ গম্ করে। এই ধরনের শব্দকে বলা হয় **অনুরণন (reverberation)**। দেওয়াল কর্তৃক বারবার শব্দের প্রতিফলনের জন্য অনুরণন হয়ে থাকে। ঘরের জানলায় পর্দা, ফেণ্টের আবরণ ইত্যাদি থাকলে এবং ঘরে আসবাব থাকলে তা শব্দকে শোষণ করে নিতে পারে বলে সাধারণত আসবাবপূর্ণ বড় ঘরে এরূপ অনুরণন শোনা যায় না।

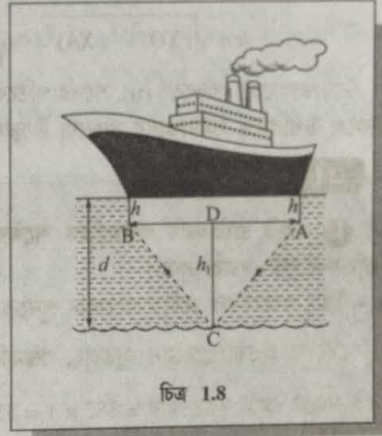
1.14.

প্রতিধ্বনির সাহায্যে গভীরতা বা উচ্চতা নির্ণয়

(Echo-depth sounding) :

(ক) সমুদ্রের গভীরতা নির্ণয় :

শব্দের প্রতিধ্বনিকে কাজে লাগিয়ে সমুদ্রের গভীরতা নির্ণয়ের একটি সুবিধাজনক পদ্ধতি আছে। সমুদ্রে ভাসমান একটি জাহাজের একপ্রান্ত হতে h গভীরতায় একটি বিক্ষোৰক বস্তু A এবং অন্যপ্রান্ত হতে একই গভীরতায় একটি হাইড্রোফোন (জলের ভিতর ব্যবহার করা যায় এরূপ মাইক্রোফোন) নামক শব্দগ্রাহী যন্ত্র B কুলিয়ে দেওয়া হয় [চিত্র 1.8]। বিক্ষোৰক দ্রব্যে আগুন লাগিয়ে বিক্ষোৰণ সৃষ্টি করলে যে প্রচণ্ড শব্দের উদ্ভব হয় তার একটি অংশ সোজা AB পথে হাইড্রোফোন যন্ত্রে পৌঁছায়। হাইড্রোফোন স্বয়ংক্রিয় বৈদ্যুতিক যন্ত্রের সাহায্যে শব্দ পৌঁছাবার সময় লিপিবদ্ধ করে রাখে। শব্দের অপর একটি অংশ জলের ভিতর দিয়ে AC পথে সমুদ্রের তলদেশে পৌঁছায় এবং সেখানে থেকে প্রতিফলিত হয়ে CB পথে হাইড্রোফোনে যায়। হাইড্রোফোন এই প্রতিফলিত শব্দ পৌঁছাবার সময়ও লিপিবদ্ধ করে।



চিত্র 1.8

মনে করো, শব্দের সরাসরি AB পথে যেতে সময় লাগল $= t_1$; যদি সমুদ্রজলে শব্দের গতিবেগ হয় V , তবে $AB = V.t_1$; এখন, $DB = \frac{1}{2} AB = \frac{1}{2} V.t_1$ (i)

আবার ধরো, প্রতিফলিত শব্দ AC এবং CB পথে যেতে সময় নিল $= t_2$ ।

এক্ষেত্রে $AC + CB = 2BC = V.t_2 \therefore BC = \frac{1}{2} V.t_2$

অতএব, $h_1 = \sqrt{(BC)^2 - (BD)^2} = \sqrt{\left(\frac{1}{2}V.t_2\right)^2 - \left(\frac{1}{2}V.t_1\right)^2} = \frac{V}{2}\sqrt{t_2^2 - t_1^2}$

\therefore সমুদ্রের গভীরতা $d = h + h_1 = h + \frac{V}{2}\sqrt{t_2^2 - t_1^2}$.

হাইড্রোফোনের সাহায্যে t_1 এবং t_2 নির্ণয় করলে সমুদ্রের গভীরতা হিসাব করা যাবে।

গভীরতা নির্ণয় ছাড়াও সমুদ্রের তলায় নিমজ্জিত জাহাজের সন্ধান, সাবমেরিন, মাছের ঝাঁক প্রভৃতির অবস্থান জানতেও প্রতিধ্বনির ব্যবহার করা হয়।

(খ) উড়োজাহাজের উচ্চতা নির্ণয় :

প্রতিফলনের সাহায্যে উড়োজাহাজের উচ্চতা নির্ণয় করা যায়। উড়োজাহাজ গতিশীল হওয়ায় নির্ণয় পদ্ধতি একটু আলাদা।

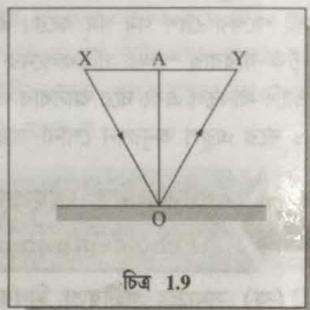
ধরো, একটি উড়োজাহাজ ভূমির সমান্তরালে XY সরলরেখায় উড়ে যাচ্ছে [চিত্র 1.9]। X বিন্দুতে

উপস্থিত হয়ে উড়োজাহাজ হতে একটি শব্দ করা হল। ধরা যাক, ভূপৃষ্ঠ দ্বারা ঐ শব্দ প্রতিফলিত হয়ে যখন প্রতিধ্বনির সৃষ্টি করল তখন উড়োজাহাজ Y বিন্দুতে উপস্থিত হয়েছে।

চিত্র হতে বোঝা যায়, শব্দকে XO এবং OY পথে প্রতিফলিত হয়ে যেতে হবে। শব্দ সৃষ্টি এবং প্রতিধ্বনি শোনা—এই দুইয়ের ভিতর সময়ের ব্যবধান যদি t সেকেন্ড হয় এবং উড়োজাহাজের গতিবেগ v হয়, তবে, $XY = v.t$ । আবার, $XA = \frac{1}{2} XY = \frac{1}{2} v.t$ ।

বায়ুমধ্যে শব্দের গতিবেগ V হলে, $XO = OY = \frac{1}{2} Vt$ ।

যদি উড়োজাহাজের উচ্চতা h হয়, তবে $AO = h$ । AOX সমকোণী ত্রিভুজ হতে পাই,



চিত্র 1.9

$$h = \sqrt{(XO)^2 - (XA)^2} = \sqrt{\left(\frac{1}{2}Vt\right)^2 - \left(\frac{1}{2}vt\right)^2} = \frac{1}{2}t\sqrt{V^2 - v^2}.$$

উড়োজাহাজের গতিবেগ (v), শব্দের গতিবেগ (V) এবং মূলশব্দ ও প্রতিধ্বনির অন্তর্বর্তী সময় (t) জানা থাকলে উপরিউক্ত সমীকরণের সাহায্যে উড়োজাহাজের উচ্চতা (h) নির্ণয় করা যায়।

□ EXAMPLES □

1. একটি প্রতিধ্বনি পঞ্চমাত্রিক শব্দের পুনরাবৃত্তি করল। শব্দের গতিবেগ 332 m/s হলে প্রতিফলকের দূরত্ব কত?

উঃ একমাত্রিক ধ্বনির প্রতিধ্বনি শুনতে হলে ধ্বনি ও প্রতিধ্বনির ভিতর সময় ব্যবধান কমপক্ষে $\frac{1}{5}$ সেকেন্ড হওয়া প্রয়োজন। সুতরাং, পঞ্চমাত্রিক ধ্বনির জন্য $5 \times \frac{1}{5} = 1$ সেকেন্ড সময় প্রয়োজন। শব্দ এই সময়ে মোট দূরত্ব যায় $= 332 \times 1 = 332 \text{ m}$ । সুতরাং প্রতিফলক $= \frac{332}{2} = 166 \text{ m}$ দূরে থাকা প্রয়োজন।

2. বন্দুকধারী এক সৈনিক 4 metre/s বেগে একটি পাহাড়ের দিকে দৌড়াতে দৌড়াতে পাহাড় থেকে 2.4 km দূরে থেকে বন্দুক ছুড়ল। কখন এবং কোথায় সে প্রতিধ্বনি শুনবে? শব্দের গতিবেগ $= 330 \text{ metre/s}$ ।

উঃ ধরো, বন্দুক ছোড়ার t সেকেন্ড পরে সৈনিক প্রতিধ্বনি শুনতে পেল। ঐ সময়ে সৈনিক যতটা অগ্রসর হবে তা $= 4t \text{ metre}$ ।

কাজেই বন্দুক ছোড়ার পর প্রতিধ্বনি শোনা পর্যন্ত শব্দ মোট যে দূরত্ব অতিক্রম করে, তা $= 2400 + (2400 - 4t) \text{ metre}$ [$2.4 \text{ km} = 2400 \text{ m}$]

এখন ঐ দূরত্ব শব্দ t সেকেন্ড সময়ে অতিক্রম করল। অতএব, শব্দের গতিবেগ $= \frac{2400 + (2400 - 4t)}{t} \text{ metre/s}$

$$\therefore \frac{2400 + (2400 - 4t)}{t} = 330 \text{ (প্রশ্নানুযায়ী)} \quad \text{বা, } 4800 = 334t; \therefore t = 14.3 \text{ সেকেন্ড।}$$

অতএব বন্দুক ছোড়ার **14.3 সেকেন্ড** পরে প্রতিধ্বনি শোনা যাবে।

ঐ সময় পাহাড় থেকে সৈনিকের দূরত্ব $= 2400 - (14.3 \times 4) = 2342.8 \text{ metre} = 2.34 \text{ km}$ (প্রায়)।

3. দুটি সমান্তরাল পাহাড়ের মাঝে দাঁড়িয়ে এক ব্যক্তি বন্দুক ছুড়ল। সে 1.5 সেকেন্ড পরে প্রথম প্রতিধ্বনি এবং 3.5 সেকেন্ড পরে দ্বিতীয় প্রতিধ্বনি শুনল। পাহাড় দুটির মধ্যে দূরত্ব কত? কখন সে তৃতীয় প্রতিধ্বনি শুনবে? বায়ুতে শব্দের বেগ $= 330 \text{ m/s}$ ।

উঃ। প্রথম প্রতিধ্বনি ব্যক্তির নিকটবর্তী পাহাড় থেকে শব্দের প্রতিফলনের জন্য হবে এবং দ্বিতীয় প্রতিধ্বনি হবে দূরবর্তী পাহাড় থেকে প্রতিফলনের জন্য।

এখন, ধরো $d_1 =$ ব্যক্তি হতে নিকটবর্তী পাহাড়ের দূরত্ব

এবং $d_2 =$ " " দূরবর্তী " "

শব্দের গতিবেগ V ধরলে, প্রথম প্রতিধ্বনির বেলায়, $2d_1 = V \times 1.5$

$$\therefore d_1 = \frac{V \times 1.5}{2} = \frac{330 \times 1.5}{2} = 247.5 \text{ m}$$

দ্বিতীয় প্রতিধ্বনির বেলায়, $2d_2 = V \times 3.5$

$$\text{অথবা, } d_2 = \frac{330 \times 3.5}{2} = 577.5$$

$$\therefore \text{পাহাড় দুটির মধ্যে দূরত্ব} = d_1 + d_2 = 247.5 + 577.5 = 825 \text{ m.}$$

এখন, নিকটবর্তী পাহাড় থেকে শব্দ প্রতিফলিত হয়ে প্রতিধ্বনি সৃষ্টির পর দূরবর্তী পাহাড়ের দিকে যাবে এবং দূরবর্তী পাহাড় থেকে ঐ শব্দ প্রতিফলিত হয়ে দ্বিতীয় প্রতিধ্বনির সৃষ্টির পর নিকটবর্তী পাহাড়ের দিকে যাবে। এই শব্দ দুটি পুনরায় প্রতিফলিত হয়ে যখন একসঙ্গে ব্যক্তির নিকট পৌঁছাবে তখন সে তৃতীয় প্রতিধ্বনি শুনবে।

সহজেই বোঝা যায় যে তার জন্য সময় লাগবে $(1.5 + 3.5) = 5$ সেকেন্ড অর্থাৎ 5 সেকেন্ড পরে সে তৃতীয় প্রতিধ্বনি শুনবে।

4. একটি দেওয়ালের সম্মুখে দাঁড়িয়ে একটি ক্ষণস্থায়ী শব্দ করা হল এবং 1.6 সেকেন্ড পরে তার প্রতিধ্বনি শোনা গেল। দেওয়ালের দিকে 33 metre অগ্রসর হয়ে আবার শব্দ করলে 1.4 সেকেন্ড পরে প্রতিধ্বনি শোনা গেল। শব্দের বেগ এবং দেওয়ালের দূরত্ব নির্ণয় করো।

উঃ। ধরো, শব্দের গতিবেগ $= V \text{ metre/s}$ এবং দেওয়ালের দূরত্ব $= D \text{ metre}$.

সুতরাং, প্রথম ক্ষেত্রে $2D = V \times 1.6 \dots \dots (i)$

এবং দ্বিতীয় ক্ষেত্রে $2(D - 33) = V \times 1.4 \dots \dots (ii)$

(ii) নং সমীকরণকে (i) নং সমীকরণ দ্বারা ভাগ করলে,

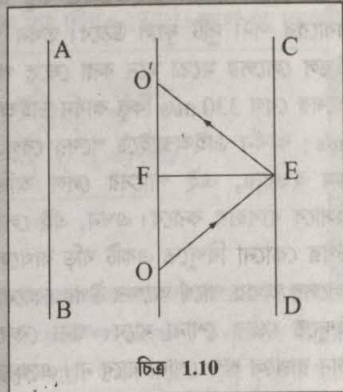
$$\frac{D - 33}{D} = \frac{1.4}{1.6} = \frac{7}{8} \text{ বা, } 8D - 264 = 7D; \quad D = 264 \text{ metre} \mid$$

(i) নং সমীকরণে D -এর মান বসালে, $2 \times 264 = V \times 1.6$

$$\therefore V = \frac{2 \times 264}{1.6} = 330 \text{ metre/s.}$$

5. দুই সারি সমান্তরাল বাড়ির ঠিক মাঝখান দিয়ে একটি রাস্তা গেছে। 36 km/h বেগে গাড়ি চালাতে চালাতে একজন মোটরচালক হর্ন বাজায়। 1 সেকেন্ড পরে সে প্রতিধ্বনি শুনতে পেল। দুই সারি বাড়ির ভিতরকার দূরত্ব কত? সে দ্বিতীয় প্রতিধ্বনি কখন শুনবে? শব্দের গতিবেগ $= 330 \text{ metre/s}$.

উঃ। ধরো, AB ও CD দুটি সমান্তরাল অট্টালিকাশ্রেণি এবং O মোটরের অবস্থান যখন হর্ন বাজানো হল। 1 সেকেন্ড পরে প্রতিধ্বনি শোনার সময় মোটরের অবস্থান O' [1.10 নং চিত্র]।



চিত্র 1.10

OE আপতিত শব্দরশ্মি এবং EO' প্রতিফলিত শব্দরশ্মি এবং OE = O'E. মোটরের গতিবেগ
 $= \frac{36 \times 1000}{60 \times 60} = 10 \text{ metre/s}$ অর্থাৎ, OO' = 10 metre.

এখন, OE = $\frac{1}{2}$ সেকেন্ড সময়ে শব্দ যে-দূরত্ব অতিক্রম করে = $\frac{330}{2} = 165 \text{ m}$.

আবার, (EF)² = (EO)² - (OF)² অথবা, (165)² - (5)² = 27200 [OF = OO' = $\frac{1}{2} \times 10 = 5 \text{ m}$]

অথবা, EF = $\sqrt{27200} = 164.9 \text{ m}$.

∴ দুই সারির ভিতর দূরত্ব = $2 \times 164.9 = 330 \text{ m}$ (প্রায়)।

হর্ন বাজাবার 2 সেকেন্ড পরে আরোহী দ্বিতীয় প্রতিধ্বনি শুনতে পাবে।

1.15. তরঙ্গের প্রতিসরণ (Refraction of waves) :



চলতরঙ্গ এক মাধ্যমের ভিতর দিয়ে অগ্রসর হয়ে যদি ভিন্ন ঘনত্বের অপর এক মাধ্যমে প্রবেশ করতে চায় তবে দেখা যায় যে মাধ্যমদ্বয়ের বিভেদ তলে তরঙ্গের কিছু অংশ (দিক পরিবর্তন করে) দ্বিতীয় মাধ্যমে সঞ্চারিত হয়। বিভিন্ন মাধ্যমে তরঙ্গের গতিবেগ বিভিন্ন বলে এই ধরনের দিক-পরিবর্তন ঘটে। একেই বলে তরঙ্গের প্রতিসরণ। শব্দতরঙ্গ, আলোক তরঙ্গ প্রভৃতি যে-কোনো তরঙ্গেরই এরূপ প্রতিসরণ হতে দেখা যায়। প্রমাণ করা যায় যে শব্দতরঙ্গ আলোকতরঙ্গ প্রতিসরণের সকল সূত্র মেনে চলে।

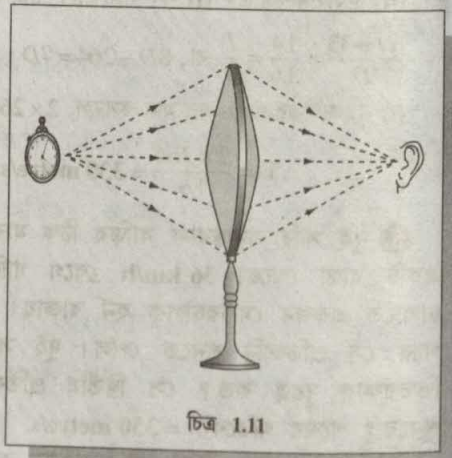
● শব্দতরঙ্গ প্রতিসরণের সূত্র : (i) আপতিত শব্দতরঙ্গ, প্রতিসৃত শব্দতরঙ্গ এবং আপতন বিন্দুতে প্রতিসরণ তলের উপর অঙ্কিত অভিলম্ব এক সমতলে অবস্থান করে।

(ii) দুটি নির্দিষ্ট মাধ্যমের বেলায় এবং একটি নির্দিষ্ট শব্দতরঙ্গের ক্ষেত্রে আপতন কোণের সাইন এবং প্রতিসরণ কোণের সাইনের অনুপাত সর্বদা ধ্রুবক।

প্রতিসৃত তরঙ্গের কম্পাঙ্ক আপতিত তরঙ্গের কম্পাঙ্কের সমান হলেও, দুই মাধ্যমে তরঙ্গের গতিবেগ ভিন্ন হওয়ায়, প্রতিসরণের ফলে তরঙ্গদৈর্ঘ্য ভিন্ন হয়।

● প্রতিসরণ দেখাবার পরীক্ষাগার ব্যবস্থা (Laboratory arrangement) : পরীক্ষাগারে শব্দতরঙ্গের প্রতিসরণ দেখাবার জন্য নিম্নলিখিত ব্যবস্থা করা যেতে পারে।

একটি গোলাকার ফ্রেমে দুখানা পাতলা রবারের পর্দা আটকে তার ভিতর কার্বন ডাইঅক্সাইড গ্যাস ভর্তি করো। কার্বন ডাইঅক্সাইড বায়ু অপেক্ষা ঘন। রবারের পর্দা দুটি ফুলে উঠবে। তখন তাকে একটি উত্তল লেন্সের মতো মনে করা যেতে পারে। বায়ুতে শব্দের বেগ 330 m/s কিন্তু কার্বন ডাইঅক্সাইডে 260 m/s ; কার্বন ডাইঅক্সাইডে শব্দের বেগ অপেক্ষাকৃত কম হওয়ায়, এই গ্যাসের লেন্স অভিসারী লেন্স হিসাবে ব্যবহার করবে। এখন, এই লেন্সের অক্ষের উপর কোনো বিন্দুতে একটি ঘড়ি রাখলে ঘড়ির শব্দ লেন্সের অপর পার্শ্বে অক্ষের উপর কোনো এক বিশেষ বিন্দুতে জোর শোনা যাবে। অন্য কোনো জায়গায় কান রাখলে শব্দ শোনা যাবে না। এক্ষেত্রে শব্দতরঙ্গ



চিত্র 1.11

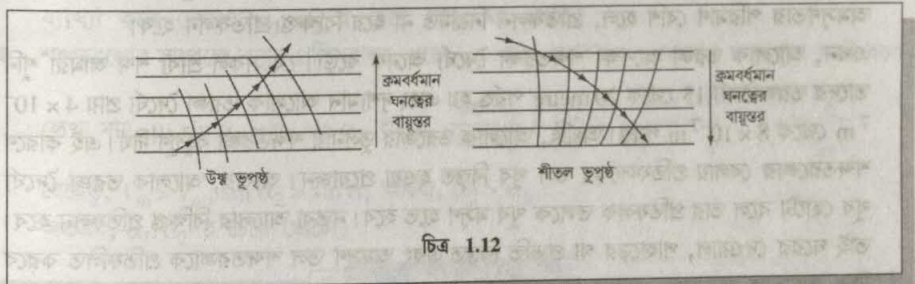
বায়ু হতে ঘনতর মাধ্যম কার্বন ডাইঅক্সাইড গ্যাসে প্রবেশ করলে প্রতিসৃত হবে এবং আলোক তরঙ্গের ন্যায় উত্তল লেন্স কর্তৃক একটি বিশেষ বিন্দুতে কেন্দ্রীভূত হবে [চিত্র 3.11]।

ঘড়ি থেকে লেপের দূরত্ব (u) এবং শ্রোতার কান থেকে লেপের দূরত্ব (v) মাপলে, $f = \frac{u+v}{u+v}$ সমীকরণ থেকে শব্দ-লেপের ফোকাস দৈর্ঘ্য নির্ণয় করা যাবে। কোনো একটি বিশেষ বিন্দুতে শব্দতরঙ্গ বা যান্ত্রিক তরঙ্গকে একত্রীভূত করবার জন্য শব্দ-লেপকে ব্যবহার করা হয়।

1.16.

বায়ুমণ্ডলে শব্দতরঙ্গের প্রতিসরণ (Refraction of sound waves in atmosphere):

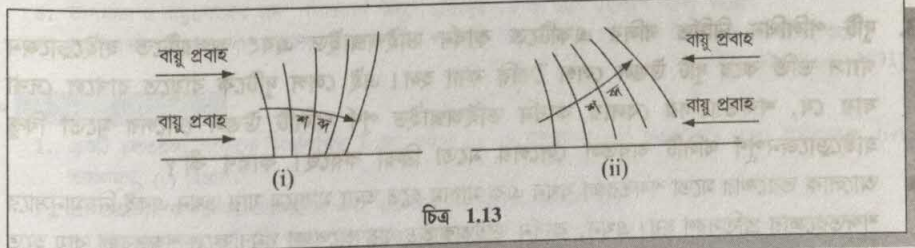
(ক) তাপমাত্রার প্রভাব (Effect of temperature): দিনের বেলায় রৌদ্রকিরণে তপ্ত ভূপৃষ্ঠের সংলগ্ন বায়ুস্তর সর্বাপেক্ষা বেশি উত্তপ্ত হয় এবং যত উপরে ওঠা যায় তত শীতল বায়ুস্তর পাওয়া যায়। অর্থাৎ, উচ্চতা বৃদ্ধির সঙ্গে বায়ুস্তরের ঘনত্ব বৃদ্ধি পায়। এখন, বায়ুতে শব্দের বেগ বায়ুর ঘনত্ব বৃদ্ধির সঙ্গে হ্রাস পায়। সুতরাং, ভূপৃষ্ঠ সংলগ্ন বায়ুস্তরে শব্দতরঙ্গ যে-বেগে যাবে উর্ধ্ব বায়ুস্তরে তদপেক্ষা কম বেগে যাবে; ফলে, তরঙ্গের প্রতিসরণ হবে এবং তরঙ্গামুখ (wave front) বঁকে উপরের দিকে চলে যাবে [চিত্র 1.12]। এই কারণে গ্রীষ্মের দিনে শব্দ সম্মুখের দিকে বেশি দূর অগ্রসর হতে পারে না—দিক পরিবর্তন করে উর্ধ্বে উঠে যায়।



চিত্র 1.12

তেমনি, রাত্রিবেলা ভূপৃষ্ঠ ঠান্ডা হলে তার সংলগ্ন বায়ুস্তরও ঠান্ডা হয়ে পড়ে। কিন্তু উপরের বায়ুস্তর অপেক্ষাকৃত উষ্ণ থাকে। ফলে উচ্চ বায়ুস্তরে শব্দের বেগ বেশি হয় এবং নিম্ন বায়ুস্তরে কম। এতে শব্দতরঙ্গ প্রতিসৃত হয়ে নীচের দিকে বঁকে যায় [চিত্র 1.12]। এই কারণে রাত্রে নদীতে নৌকায় বসে অনেক দূরের কথাবার্তা বা শব্দ স্পষ্ট শোনা যায় কিন্তু দিনের বেলায় ঐ শব্দ শ্রুতিগোচর হয় না।

(খ) বায়ুপ্রবাহের প্রভাব (Effect of wind): বায়ুপ্রবাহের ফলে ভূপৃষ্ঠ সাপেক্ষে শব্দের আপাত বেগ বিভিন্ন হয়। যখন বায়ুপ্রবাহ ও শব্দতরঙ্গ একই দিকে অগ্রসর হয় তখন শব্দতরঙ্গের উপরাংশ নীচের অংশ অপেক্ষা বেশি বেগে যায় এবং শব্দতরঙ্গ সম্মুখের দিকে বঁকে যায় [চিত্র 1.13(i)]। ফলে বহু দূরবর্তী



চিত্র 1.13

শব্দ স্পষ্ট শোনা যায়। আর যদি বায়ুপ্রবাহ বিপরীত দিক হতে আসে তখন শব্দতরঙ্গের উপরাংশ নীচের অংশ অপেক্ষা কম বেগে যায় এবং শব্দতরঙ্গ উপরের দিকে বঁকে যায়। তখন দূরের শব্দ শোনা যায় না। [চিত্র 1.13(ii)]।

[স্রষ্টব্য : বায়ুপ্রবাহের দরুন শব্দতরঙ্গের উপরোক্ত বক্রগতিক প্রকৃতিপক্ষে শব্দের প্রতিসরণ বলা যায় না কারণ এক্ষেত্রে বায়ু মাধ্যমের সাপেক্ষে শব্দতরঙ্গের গতিবেগের কোনো পরিবর্তন হয় না। তবে ফলাফল প্রতিসরণের অনুরূপ বলে একে শব্দতরঙ্গের প্রতিসরণ বলে গণ্য করা হয়।]

এই পরিচ্ছেদের বিষয়বস্তু সম্পর্কে কয়েকটি প্রশ্ন (Some typical problems of this chapter)

- ঘরের দেওয়াল শব্দতরঙ্গকে প্রতিফলিত করে কিন্তু আলোক তরঙ্গকে করে না। আবার, একখানি ছোটো সমতল দর্পণ আলোক তরঙ্গকে প্রতিফলিত করে কিন্তু শব্দতরঙ্গকে করে না। এই পার্থক্যের কারণ কী?
- যে-কোনো প্রতিফলক যে-কোনো তরঙ্গকে প্রতিফলিত করে না। প্রতিফলনের জন্য তরঙ্গের প্রকৃতি এবং প্রতিফলকের প্রকৃতির ভিতর একটি সম্পর্ক প্রয়োজন। পরীক্ষা করে দেখা গেছে, কোনো তরঙ্গকে প্রতিফলিত করতে হলে (i) প্রতিফলক তলের আকার ঐ তরঙ্গের দৈর্ঘ্যের তুলনায় বড় হতে হবে এবং (ii) প্রতিফলক তলের অমসৃণতার পরিমাণ তরঙ্গদৈর্ঘ্যের তুলনায় খুব ছোটো হতে হবে; অমসৃণতার পরিমাণ বেশি হলে, প্রতিফলন নিয়মিত না হয়ে বিক্ষিপ্ত প্রতিফলন হবে।
এখন, আলোক তরঙ্গ অপেক্ষা শব্দতরঙ্গ দৈর্ঘ্য অনেক বড়ো। যে সকল শ্রাব্য শব্দ আমরা শুনি তাদের তরঙ্গদৈর্ঘ্য 15 থেকে 20 metre পর্যন্ত হয় এবং দৃশ্যমান আলোক তরঙ্গ দৈর্ঘ্য প্রায় 4×10^{-7} m থেকে 8×10^{-7} m পর্যন্ত। অর্থাৎ, আলোক তরঙ্গের তুলনায় শব্দতরঙ্গ বহুগুণ দীর্ঘ। এই কারণে শব্দতরঙ্গের বেলায় প্রতিফলকের তল খুব বিস্তৃত হওয়া প্রয়োজন। আবার, আলোক তরঙ্গ দৈর্ঘ্য খুব ছোটো বলে তার প্রতিফলক তলকে খুব মসৃণ হতে হবে। নতুবা আলোর বিক্ষিপ্ত প্রতিফলন হবে। তাই ঘরের দেওয়াল, পাহাড়ের গা প্রভৃতি বিস্তৃত এবং অমসৃণ তল শব্দতরঙ্গকে প্রতিফলিত করবে কিন্তু আলোক তরঙ্গকে করবে না। আবার ছোটো সমতল দর্পণ তেমন বিস্তৃত নয় বলে দীর্ঘ শব্দতরঙ্গকে প্রতিফলিত করে না। কিন্তু অতি ক্ষুদ্র আলোক তরঙ্গকে প্রতিফলিত করে।
- রাত্রিবেলা দূরাগত শব্দ স্পষ্ট শোনা যায় কিন্তু দিনের বেলায় শোনা যায় না। কেন?
- রাত্রিবেলা ভূপৃষ্ঠ তাপ ছেড়ে ঠান্ডা হয়। সেইসঙ্গে ভূপৃষ্ঠ সংলগ্ন বায়ুস্তরও ঠান্ডা হয়ে যায়। কিন্তু উপরের বায়ুস্তর অপেক্ষাকৃত উষ্ণ থাকে। বায়ুস্তরের উষ্ণতা যত বাড়ে তার ঘনত্ব তত কমে যায়। এতে রাত্রিবেলা উচ্চ বায়ুস্তরে শব্দের বেগ বেশি হয় এবং নিম্ন বায়ুস্তরে কম। এতে শব্দতরঙ্গ প্রতিসৃত হয়ে নীচের দিকে বেকে যায়। এই কারণে রাত্রিবেলা অনেক দূরের কথাবার্তা বা শব্দ শোনা যায় কিন্তু দিনের বেলা শোনা যায় না।
- দুটি পলিথিন নির্মিত থলির একটিতে কার্বন ডাইঅক্সাইড এবং অপরটিতে হাইড্রোজেন গ্যাস ভর্তি করে দুটি উত্তল লেন্স তৈরি করা হল। এই লেন্স দুটিকে বায়ুতে রাখলে দেখা যায় যে, শব্দতরঙ্গের বেলায় কার্বন ডাইঅক্সাইড পূর্ণ থলিটি উত্তল লেন্সের মতো কিন্তু হাইড্রোজেনপূর্ণ থলিটি অবতল লেন্সের মতো ক্রিয়া করছে। কারণ কী?
- আলোক তরঙ্গের মতো শব্দতরঙ্গ যখন এক মাধ্যম হতে অন্য মাধ্যমে যায় তখন একই নিয়মানুসারে শব্দতরঙ্গের প্রতিসরণ হয়। এখন, কার্বন ডাইঅক্সাইড বায়ু অপেক্ষা ঘন। ফলে শব্দতরঙ্গ বায়ু হতে কার্বন ডাইঅক্সাইড পূর্ণ থলির ভিতর দিয়ে গেলে আলো যেমন বায়ু হতে কাচ লেন্সের ভিতর দিয়ে যায় সেইরূপ ঘটনা ঘটবে। কাচলেন্স উত্তল হলে আলোকরশ্মি যেমন অভিসারী হয় কার্বন ডাইঅক্সাইড থলির ভিতর দিয়ে যাবার ফলে শব্দরশ্মিও অভিসারী হবে এবং থলিটি উত্তল লেন্সের মত ক্রিয়া করবে। কিন্তু হাইড্রোজেনের বেলাতে উল্টো প্রতিসরণ হবে কারণ হাইড্রোজেন বায়ু অপেক্ষা কম ঘন।

এ ক্ষেত্রে শব্দরশ্মি ঘন মাধ্যম হতে লঘু মাধ্যমের ভিতর দিয়ে যাবার ফলে, অপসারী হবে এবং থলিটি অবতল লেন্সের মতো ক্রিয়া করবে।

4. তির্যক তরঙ্গ কোনো প্রতিফলক দ্বারা প্রতিফলিত হলে, তরঙ্গের গতিবেগ, তরঙ্গের দৈর্ঘ্য বা কম্পাঙ্কের কোনো পরিবর্তন হয় না। যুক্তি সহকারে ব্যাখ্যা করো।

[Jt. Entrance 1989]

- তরঙ্গ প্রতিফলিত হয়ে একই মাধ্যমে ফিরে আসে বলে তরঙ্গের গতিবেগের কোনো পরিবর্তন হয় না। তরঙ্গের কম্পাঙ্ক প্রতিফলনের উপর নির্ভর করে না বলে, কম্পাঙ্ক অপরিবর্তিত থাকে। তরঙ্গদৈর্ঘ্য

$\frac{\text{তরঙ্গের গতিবেগ}}{\text{তরঙ্গের কম্পাঙ্ক}}$ । গতিবেগ ও কম্পাঙ্ক অপরিবর্তিত থাকে বলে, প্রতিফলনের পর তরঙ্গদৈর্ঘ্যের কোনো পরিবর্তন হয় না।

তরঙ্গের প্রতিসরণ হলে, গতিবেগ ও তরঙ্গদৈর্ঘ্যের পরিবর্তন হয় কিন্তু কম্পাঙ্ক অপরিবর্তিত থাকে।

5. একটি শব্দতরঙ্গ বায়ু থেকে জলে যায়। বায়ু ও জলের সংযোগতলে (interface) আপতন কোণ α_1 এবং জলে প্রতিসরণ কোণ α_2 । ধরা যাক এক্ষেত্রে স্নেল সূত্র খাটে। তা হলে ব্যাখ্যা করে দেখাও α_1, α_2 -র চেয়ে বড়ো না ছোটো।

- শব্দতরঙ্গের সাপেক্ষে বায়ুর প্রতিসরাঙ্ক, ধরো, μ_1 এবং জলের μ_2 । এক্ষেত্রে স্নেল সূত্র খাটে বলে

$$\text{লেখা যায়, } \mu_1 \sin \alpha_1 = \mu_2 \sin \alpha_2 \text{ অথবা, } \frac{\sin \alpha_1}{\sin \alpha_2} = \frac{\mu_2}{\mu_1} = \frac{\text{বায়ুতে শব্দের বেগ } (V_a)}{\text{জলে, ,, ,, } (V_o)}$$

যেহেতু, $V_o > V_a$; $\sin \alpha_2 > \sin \alpha_1$ অথবা, $\alpha_2 > \alpha_1$

অতএব, α_1, α_2 -র চেয়ে ছোটো।

* প্রশ্নাবলি *

→ রচনামূলক প্রশ্ন

1. তরঙ্গ বলতে কি বোঝ? তির্যক ও অনুদৈর্ঘ্য তরঙ্গ কাকে বলে? উদাহরণসহ ব্যাখ্যা করো।
2. আলোকের ন্যায় শব্দেরও প্রতিফলন হয়, সেটা পরীক্ষার সাহায্যে প্রমাণ করো।
3. a বিস্তার এবং v গতিবেগসহ একটি চলতরঙ্গ ঋণাত্মক x -অভিমুখে অগ্রসর হলে, প্রমাণ করো যে ঐ তরঙ্গের সমীকরণ $y = a \sin \frac{2\pi}{\lambda} (vt - x)$ । যদি তরঙ্গ ঋণাত্মক x -অভিমুখে অগ্রসর হয়, তবে তার সমীকরণ কী হবে?
4. তির্যক ও অনুদৈর্ঘ্য তরঙ্গের ভিতর তুলনা করো।
5. শব্দের প্রতিফলনের ব্যবহারিক প্রয়োগ উল্লেখ করো।
6. তাপমাত্রা ও বায়ুপ্রবাহের জন্য শব্দতরঙ্গ কীভাবে প্রতিসৃত হয় তা চিত্র সহযোগে ব্যাখ্যা করো।
7. সাধারণভাবে শব্দের বেগ গ্যাসের তুলনায় কঠিন পদার্থের ভিতর বেশি হয়—এই উক্তির সত্যতা যাচাই করো।

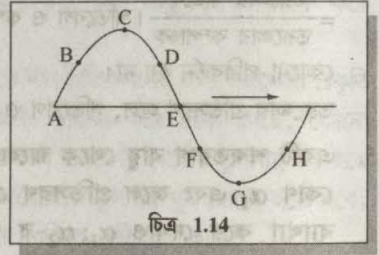
[Jt. Entrance 1991]

→ সংক্ষিপ্ত উত্তরের প্রশ্ন

1. একটি চলতরঙ্গ সম্পর্কে নিম্নলিখিত সংজ্ঞা লেখো :—(i) কম্পাঙ্ক, (ii) তরঙ্গদৈর্ঘ্য, (iii) পর্যায়কাল, (iv) তরঙ্গমুখ, (v) বিস্তার।
2. (a) তরঙ্গের কম্পাঙ্ক, তরঙ্গবেগ এবং তরঙ্গদৈর্ঘ্যের ভিতর সম্পর্ক কী?
(b) তরঙ্গের সময় পর্যাবৃত্তি ও দেশ পর্যাবৃত্তি কাকে বলে?
3. নিম্নলিখিত অপেক্ষকগুলি $f(x \pm vt)$ প্রকৃতির : (i) $y = A(x - vt)$; (ii) $y = A(x + vt)^2$; (iii) $y = A \sqrt{x - vt}$; (iv) $y = \log_e(x + vt)$ যেখানে A একটি ধ্রুব-সংখ্যা। ব্যাখ্যা করো, কেন তরঙ্গগতি প্রকাশে কোনো অপেক্ষকই সহায়ক নয়?
4. দেখাও যে চলতরঙ্গের সাধারণ সমীকরণ $y = a \sin \frac{2\pi}{\lambda} (Vt - x)$ নিম্নলিখিত বিকল্প রূপে প্রকাশ করা যায় :

$$(i) y = a \sin 2\pi \left(nt - \frac{x}{\lambda} \right) \quad (ii) y = a \sin 2\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda} \right) \quad (iii) y = a \sin 2\pi n \left(t - \frac{x}{V} \right) \quad (iv) y = a \sin \omega \left(t - \frac{x}{V} \right)$$

5. গ্যাসীয় মাধ্যমে অনুদৈর্ঘ্য তরঙ্গ ব্যাপ্ত হতে পারে কিন্তু তির্যক তরঙ্গ পারে না—কারণসহ ব্যাখ্যা করো।
6. প্রতিফলন কী? প্রতিফলনের সাহায্যে সমুদ্র-গভীরতা কীভাবে নির্ণয় করা যায়? খুব অল্প দূরত্বে প্রতিফলন শোনা যায় না কেন?
7. অনুরণন কাকে বলে? আধুনিক সিনেমা হলে অনুরণন ন্যূনতম করার জন্য কী ব্যবস্থা অবলম্বন করা হয়?
8. নিম্নলিখিত প্রশ্নগুলির উত্তর লেখো :—(i) ঘরের দেওয়াল শব্দতরঙ্গকে প্রতিফলিত করে কিন্তু আলোক তরঙ্গকে করে না। আবার, একখানি ছোটো সমতল দর্পণ আলোক তরঙ্গকে প্রতিফলিত করে কিন্তু শব্দতরঙ্গকে করে না। কেন? (ii) জনসভার উদ্দেশ্যে নির্মিত হলঘরের ছাদ আর্চের মতো বাঁকানো থাকে কেন? (iii) দূরাগত ক্ষীণ শব্দ শোনবার জন্য আমরা অনেক সময় হাতের তালুকে বাঁকিয়ে কানের কাছে ধরি কেন? (iv) রাত্রিবেলা দূরাগত শব্দ স্পষ্ট শোনা যায় কিন্তু দিনের বেলা শোনা যায় না কেন?
9. একটি তার বরাবর বাম থেকে দক্ষিণে একটি তির্যক তরঙ্গ অগ্রসর হচ্ছে। 1.14 নং চিত্রে কোনো এক মুহূর্তে তারের আকৃতি দেখানো হয়েছে। A, B, C ইত্যাদি তারের বিভিন্ন বিন্দু। ঐ মুহূর্তে (i) কোন্ কোন্ বিন্দুর গতিবেগ উর্ধ্বমুখী, (ii) কোন্ কোন্ বিন্দুর গতিবেগ নিম্নমুখী, (iii) কোন্ কোন্ বিন্দুর গতিবেগ সর্বাধিক?



চিত্র 1.14

■ অতি সংক্ষিপ্ত উত্তরের প্রশ্ন

- একটি শব্দতরঙ্গ বায়ু থেকে জলে প্রবেশ করল। তাতে তরঙ্গের গতিবেগ, কম্পাঙ্ক ও তরঙ্গদৈর্ঘ্যের কীরূপ পরিবর্তন হবে?
[সংকেত : গতিবেগ বৃদ্ধি পাবে; কম্পাঙ্ক অপরিবর্তিত থাকবে। তরঙ্গদৈর্ঘ্য বৃদ্ধি পাবে।]
- অনুদৈর্ঘ্য তরঙ্গ একটি ঘনীভবন ও তার নিকটতম ভূত্ববনের মধ্যে দূরত্ব কত?
- গ্যাস মাধ্যমে তির্যক তরঙ্গ উৎপন্ন করা যায় না কেন?
- কোনো এককে একটি চলতরঙ্গের সমীকরণ $y = 10 \sin 2\pi [100t + 5x + \frac{1}{2}]$ হলে তরঙ্গের কম্পাঙ্ক ও বেগের মান কত?
[Ans. 100 ; 20 একক]
- একটি তির্যক তরঙ্গের বিস্তার 10 cm, কম্পাঙ্ক 500 Hz এবং তরঙ্গদৈর্ঘ্য 100 cm। ঐ তরঙ্গের সমীকরণ লেখ।
[Ans. $y = 10 \sin 2\pi \left(500t - \frac{x}{100} \right)$]
- একটি শব্দ তরঙ্গ বায়ু থেকে জলে যাচ্ছে। বায়ু-জল বিভেদতলে আপতন কোণ α_1 এবং জলের ভিতর প্রতিসরণ কোণ α_2 । এক্ষেত্রে মেল সূত্র সত্য হলে, α_1 কি α_2 থেকে বড় হবে না ছোটো হবে?
- তির্যক তরঙ্গে একটি তরঙ্গাংশ এবং পরের তরঙ্গ পাদের ভিতর দূরত্ব কত?
- কোনো মাধ্যমের ভিতর দিয়ে অনুদৈর্ঘ্য তরঙ্গ বিস্তার লাভ করলে, মাধ্যমের কণাগুলি কোন্দিকে আন্দোলিত হয়?
- কোনো শব্দের প্রতিফলন শুনতে হলে, শব্দের উৎস এবং প্রতিফলকের ভিতর ন্যূনতম দূরত্ব কত রাখতে হবে।

■ বহুমুখী পছন্দের প্রশ্ন [Multiple choice type (MCQ)]

(A) নিচের উত্তরটি ✓ চিহ্নিত করো :

[i] $y = 0.02 \sin (30t + x)$ যেখানে x মিটারে এবং t সেকেন্ডে মাপা হয়েছে— একটি তির্যক তরঙ্গ প্রকাশ করছে। ঐ তরঙ্গের গতিবেগ

- (A) 45 m/s (B) 60 m/s (C) 30 m/s (D) 15 m/s.

[ii] একটি তির্যক তরঙ্গের সমীকরণ $y = 5 \sin 2\pi \left(\frac{t}{0.04} - \frac{x}{50} \right)$ যেখানে x সেন্টিমিটারে এবং t সেকেন্ডে প্রকাশিত হয়েছে। ঐ তরঙ্গের তরঙ্গদৈর্ঘ্য

- (A) 5 cm (B) 10 cm (C) 25 cm (D) 50 cm.

[iii] কোনো তরঙ্গ বায়ু মাধ্যম থেকে জলে প্রতিসৃত হলে,

- (A) আপতন কোণ > প্রতিসরণ কোণ, (B) আপতন কোণ < প্রতিসরণ কোণ,
(C) আপতন কোণ = প্রতিসরণ কোণ, (D) কোনটাই নয়।

[iv] $y = y_0 \sin 2\pi \left(nt - \frac{x}{\lambda} \right)$ সমীকরণ তির্যক তরঙ্গ প্রকাশ করছে। মাধ্যমের কোনো কণার গতিবেগ তরঙ্গবেগের চারগুণ হলে,

- (A) $\lambda = \frac{\pi y_0}{2}$ (B) $\lambda = \frac{\pi y_0}{4}$ (C) $\lambda = \pi y_0$ (D) $\lambda = 2\pi y_0$

[v] বায়ুতে শব্দের বেগ = 330 m/s। চারটি পদাংশযুক্ত শব্দের প্রতিফলনি শুনতে হলে, প্রতিফলকের ন্যূনতম দূরত্ব হবে
(A) 122 m (B) 130 cm (C) 132 m (D) 150 m.

[vi] তির্যক তরঙ্গ চলাচল করতে পারে

- (A) গ্যাসীয় এবং কঠিন মাধ্যমে, (B) গ্যাসীয় মাধ্যমে কিন্তু কঠিন মাধ্যমে নয়,
(C) গ্যাস মাধ্যমে নয় কিন্তু কঠিন মাধ্যমে, (D) গ্যাস বা কঠিন কোনো মাধ্যমেই নয়।

[vii] শব্দের বার বার প্রতিফলনে সৃষ্টি হয়

- (A) অনুরণন (B) স্থানুতরঙ্গ (C) ব্যতিচার (D) প্রতিফলনি।

[viii] λ তরঙ্গদৈর্ঘ্যের কোনো তরঙ্গের এক মাধ্যমে গতিবেগ v_1 । যে মাধ্যমে ঐ তরঙ্গের গতিবেগ $4v_1$ সেই মাধ্যমে ঐ তরঙ্গের দৈর্ঘ্য হবে

- (A) 4λ (B) $\frac{\lambda}{2}$ (C) 2λ (D) 2λ .

[ix] $x = 0.4 \cos \left(8t - \frac{y}{2} \right)$ একটি প্রগামী তরঙ্গের সমীকরণ হলে, তরঙ্গটির কম্পাঙ্ক

- (A) $\frac{4}{\pi}$ (B) $\frac{8}{\pi}$ (C) $\frac{1}{\pi}$ (D) 2π .

[x] দুটি তরঙ্গের সমীকরণ $y_1 = 10 \sin \left(3\pi t + \frac{\pi}{3} \right)$ এবং $y_2 = 5(\sin 3\pi t + \sqrt{3} \cos 3\pi t)$ হলে তাদের বিস্তারের অনুপাত হয়

- (A) 1 : 2 (B) 2 : 1 (C) 1 : 1 (D) 1 : 4.

[xi] কোন প্রকার তরঙ্গ সমবর্তন প্রদর্শন করে ?

- (A) অনুদৈর্ঘ্য (B) তির্যক (C) স্থানু (D) এর কোনটাই নয়।

[xii] $y = y_0 \sin 2\pi (ft - x/\lambda)$ তির্যক তরঙ্গের তরঙ্গ দৈর্ঘ্য $\lambda = \frac{\pi y_0}{2}$ হলে ঐ তরঙ্গ কোনো কণার সর্বোচ্চ বেগ তরঙ্গ বেগের

- (A) 4 গুণ (B) 2 গুণ (C) 8 গুণ (D) 3 গুণ।

[xiii] একটি চলতরঙ্গের সমীকরণ $y = 10 \sin \pi (t - 0.002x)$ cm হলে, মাধ্যমের কোনো কণার সর্বাধিক বেগ হবে

- (A) 3.14 cm/s (B) 62.8 cm/s (C) 31.4 cm/s (D) 6.28 cm/s.

[xiv] একটি প্রগামী তরঙ্গকে $y = 0.25 \cos (2\pi t - \pi x)$ সমীকরণ দ্বারা প্রকাশ করা যায়। বিপরীত দিকে প্রগামী অপর একটি তরঙ্গের বিস্তার দ্বিগুণ এবং কম্পাঙ্ক অর্ধেক হলে। তার সমীকরণ

- (A) $y = 0.5 \cos (\pi t - \pi x)$ (B) $y = 0.5 \cos (\pi t + \pi x)$
(C) $y = 0.25 \cos (\pi t + 2\pi x)$ (D) $y = 0.5 \cos (2\pi t + 2\pi x)$

[xv] ঘনতর মাধ্যম কর্তৃক প্রতিফলিত হলে, তরঙ্গের কোণটি পরিবর্তিত হয় ?

- (A) বিস্তার (B) গতিবেগ (C) কম্পাঙ্ক (D) দশা।

[xvi] একটি দর্পণ আলোকতরঙ্গের উত্তম প্রতিফলক কিন্তু শব্দ তরঙ্গের নয় ; আবার একটি বড় গাছ শব্দতরঙ্গের উত্তম প্রতিফলক কিন্তু আলোক তরঙ্গের নয়। এর কারণ আলোক তরঙ্গের সাথে শব্দতরঙ্গের নিম্নলিখিত পার্থক্য আছে :

- (A) তরঙ্গ দৈর্ঘ্য (B) গতিবেগ (C) বিস্তার (D) পর্যায়কাল।

[xvii] নীচের কোন রাশিমালাটি সরল দোল-চলতরঙ্গ প্রকাশ করে ?

- (A) $a \sin \omega t$ (B) $a \sin \omega t \cos kt$ (C) $a \sin (\omega t - kx)$ (D) $a \cos kx$

- [xviii] একটি কণা সরল দোলগতিতে স্পন্দিত হচ্ছে। তার কম্পাঙ্ক 100Hz হলে তার পর্যায়কাল হল
 (A) 10^{-2} s (B) 10^{-4} s (C) 10^{-1} s (D) 10^{-3} s. [Jt. Entrance 2006]

(B) শূন্যস্থান পূরণ করো (Fill up the gaps) :

- [i] যখন এক মাধ্যম থেকে অন্য মাধ্যমে তরঙ্গ প্রবাহিত হয় তখন তরঙ্গের _____ অপরিবর্তিত থাকে।
 [ii] যখন অপর এক মাধ্যমের বিভেদতলে তরঙ্গ প্রতিফলিত হয় তখন তরঙ্গের _____ অপরিবর্তিত থাকে।
 [iii] তির্যক ও অনুদৈর্ঘ্য তরঙ্গকে একসঙ্গে _____ তরঙ্গ বলা হয় কারণ এই তরঙ্গপ্রসূত কম্পন মাধ্যমের এককণা থেকে পরবর্তী কণাতে _____ হয়।
 [iv] তরঙ্গের তরঙ্গদৈর্ঘ্যকে _____ পর্যায় এবং পর্যায়কালকে _____ পর্যায় বলা হয়।
 [v] একটি মাধ্যমে কম্পাঙ্কের n_1 এবং λ_1 দৈর্ঘ্যের একটি তরঙ্গ এবং n_2 কম্পাঙ্কের এবং λ_2 দৈর্ঘ্যের আর একটি তরঙ্গ প্রবাহিত হচ্ছে। এদের মধ্যে সম্পর্ক _____।
 [vi] একটি তরঙ্গের উপর দুটি কণার পথপার্থক্য Δx হলে, তাদের ভিতর দশাপার্থক্য $\Delta \delta =$ _____।
 [vii] কোনো বাড়ির দেওয়াল শব্দতরঙ্গকে প্রতিফলিত করে কিন্তু আলোকতরঙ্গকে করে না, কারণ শব্দতরঙ্গে দৈর্ঘ্য _____।

(C) ভুল কি নির্ভুল বিচার করো (True or false type) :

- [i] 10 cm. তরঙ্গদৈর্ঘ্যের এবং 10 কম্পাঙ্কের তরঙ্গ সৃষ্টি হলে, ঐ তরঙ্গের গতিবেগ 100 cm/s.
 [ii] চলতরঙ্গ মাধ্যমের ভিতর দিয়ে অগ্রসর হলে মাধ্যমের প্রতিটি বিন্দুর চাপ ও ঘনত্বের একই রকম পরিবর্তন হয়।
 [iii] যখন কোনো তরঙ্গ প্রতিফলক তল থেকে প্রতিফলিত হয় তখন তার গতিবেগ, তরঙ্গদৈর্ঘ্য এবং কম্পাঙ্ক অপরিবর্তিত থাকে।
 [iv] শব্দের গতিবেগ 330 m/s ধরলে সাধারণ ধ্বনির প্রতিধ্বনি শুনতে গেলে প্রতিফলককে 33 m দূরে রাখলেই হবে।
 [v] নৌকা থেকে নোঙর ফেলার শব্দ সমুদ্রের পাহাড় থেকে প্রতিফলিত হয়ে 2 সেকেন্ড পরে পৌঁছোল। বায়ুতে শব্দের বেগ 332 m/s ধরলে পাহাড়ের দূরত্ব হবে 332 metre।
 [vi] কাচে শব্দের বেগ বায়ুতে শব্দের বেগ অপেক্ষা কম।

→ সহজ গাণিতিক প্রশ্ন

1. বিস্তার 0.01 metre, কম্পাঙ্ক 550 এবং গতিবেগ 330 metre/s সহ x -অক্ষ বরাবর ঋণাত্মক অভিমুখে যাচ্ছে
 এরূপ একটি তরঙ্গের সমীকরণ লেখো।

$$y = 0.01 \sin 10\pi \left(110t + \frac{x}{3} \right)$$

 2. y -অক্ষ বরাবর কম্পনসহ একটি তরঙ্গ ঋণাত্মক x -অক্ষ বরাবর বিস্তার লাভ করছে। তরঙ্গের বিস্তার, কম্পাঙ্ক ও তরঙ্গদৈর্ঘ্যের মান যথাক্রমে 10 cm, 500 Hz ও 100 cm চলমান তরঙ্গের সমীকরণ লিখ।
 [Jt. Entrance 1990] [Ans. $y = 10 \sin 2\pi(500t + x/100)$]
 3. বাদুড় শব্দোত্তর তরঙ্গ উৎপন্ন করে। বায়ুতে বাদুড় যে ক্ষুদ্রতর তরঙ্গ উৎপন্ন করে তার দৈর্ঘ্য 0.335 cm. বাদুড় সর্বাধিক উচ্চতম কত কম্পাঙ্কের শব্দ তৈরি করে? (বায়ুতে শব্দের বেগ = 330 metre/s.) [Ans. 10^5 (প্রায়)]
 4. এক ব্যক্তি সমুদ্রতীরে দাঁড়িয়ে লক্ষ করল যে প্রতি মিনিটে 54টি তরঙ্গ সমুদ্রতটে আঘাত করছে। তরঙ্গদৈর্ঘ্য 10 metre হলে, তরঙ্গবেগ কত? [Ans. 9 metre/s]
 5. দুটি সুরশলাকার কম্পাঙ্ক যথাক্রমে 128 এবং 384, বায়ুমাধ্যমে তাদের দ্বারা সৃষ্ট তরঙ্গের দৈর্ঘ্যের তুলনা করো। [Ans. 3 : 1]
 6. 50 Hz এবং 100 Hz কম্পাঙ্কবিশিষ্ট দুটি সুরশলাকা কম্পনশীল অবস্থায় জল স্পর্শ করলে যথাক্রমে 6 cm এবং 36 cm তরঙ্গদৈর্ঘ্যের তরঙ্গ সৃষ্টি হয়। এই দুটি তরঙ্গের বেগ তুলনা করো।

[Jt. Entrance 1998] [Ans. 1 : 12]

7. একটি সুরশলাকার কম্পাঙ্ক 440। বায়ুমাধ্যমে শব্দের বেগ 320 metre/s হলে, যে-সময়ে সুরশলাকার 30টি কম্পন শেষ করে সেই সময়ে শব্দ কত পথ অতিক্রম করবে? [Ans. 21.8 metre]
 8. একটি সুরশলাকার কম্পাঙ্ক 560 এবং বায়ুমাধ্যমে শব্দের বেগ 332 m/s. সুরশলাকার 100 বার কম্পন শেষ হলে, ঐ সময়ের শব্দ কত দূরে যাবে? [Ans. 59.3 m]
 9. বায়ুমাধ্যমে শব্দের বেগ 330 m/s হলে, যে সময়ে শব্দ 50 m পথ অতিক্রম করে সে সময়ে 264 কম্পাঙ্কের সুরশলাকা কয়বার কম্পন সম্পন্ন করবে? [Ans. 40]
 10. একটি সুরশলাকার কম্পাঙ্ক 264 ; যে সময়ে সুরশলাকার শব্দ 33.2 m পথ অতিক্রম করে সেই সময়ে সুরশলাকা কয়বার পূর্ণ কম্পন করবে? বায়ুতে শব্দের বেগ = 332 m/s. [Ans. 26.4]
 11. স্থিরমানের কম্পাঙ্কে কম্পনশীল কোনো বস্তু A-মাধ্যমে 10 cm দীর্ঘ তরঙ্গ কিন্তু B মাধ্যমে 15 cm দীর্ঘ তরঙ্গ প্রেরণ

করে। A এবং B মাধ্যমে তরঙ্গবেগের তুলনা করে। A মাধ্যমে তরঙ্গের বেগ 90 cm/s; B মাধ্যমে বেগ কত?

[Ans. 2 : 3 : 135 cm/s]

12. (a) $y = a \sin \left(2000\pi t - \frac{\pi x}{17} \right)$ সমীকরণ একটি তরঙ্গকে প্রকাশ করে। এখানে x ও y cm এবং t সেকেন্ড বলা আছে। এই তরঙ্গের (i) তরঙ্গদৈর্ঘ্য (ii) গতিবেগ (iii) কম্পাঙ্ক নির্ণয় করো। তরঙ্গের উপর 180 cm দূরত্বে অবস্থিত দুটি কণার দশাপার্থক্য নির্ণয় করো। [Ans. (i) 34 cm, (ii) 340 m/s, (iii) 1000, (iv) $\frac{180\pi}{17}$ rad]

(b) একটি চলতরঙ্গের রাশিমালা নিম্নরূপ : $y = 10 \sin 2\pi \left(\frac{t}{0.005} - \frac{x}{10} \right)$ cm যেখানে t এবং x cgs এককে দেওয়া আছে। তরঙ্গটির বিস্তার, তরঙ্গদৈর্ঘ্য এবং গতিবেগ নির্ণয় করো। [Ans. 10 cm, 10 cm, 2×10^3 cm/s]

(c) একটি চলতরঙ্গের সমীকরণ নিম্নরূপ : $y = (1.0 \text{ mm}) \sin \pi \left(\frac{t}{0.01 \text{ s}} - \frac{x}{2.0 \text{ cm}} \right)$; তরঙ্গের বিস্তার, পর্যায়কাল এবং তরঙ্গ দৈর্ঘ্য কত? [1.0 mm; 20 millisecond; 4 cm]

[সংকেত : $y = a \sin \left(2\pi \frac{t}{T} - \frac{2\pi x}{\lambda} \right) = a \sin \pi \left(\frac{t}{T/2} - \frac{x}{\lambda/2} \right)$]

13. একটি চলতরঙ্গের সমীকরণ $y = 15 \sin(660\pi t - 0.02\pi x)$ cm হলে তরঙ্গের বেগ নির্ণয় করো।

[Ans. 330 m/s]

14. একটি শব্দতরঙ্গের কম্পাঙ্ক 500 Hz এবং গতিবেগ 360 metre/s. তরঙ্গের উপর অবস্থিত দুটি কণার দূরত্ব কত হলে তাদের দশাপার্থক্য 60° হবে? [Ans. 12 cm]

15. একটি শব্দের প্রতিধ্বনি শুনতে হলে ব্যক্তি হতে প্রতিফলকের ন্যূনতম দূরত্ব শব্দের গতিবেগ V -এর পরিপ্রেক্ষিতে কত হতে হবে? [Ans. $V/20$]

16. A এবং B দুই ব্যক্তি একটি পাহাড়ের অভিলম্বভাবে একই সরলরেখায় দাঁড়িয়ে আছে। A পাহাড়ের নিকটবর্তী এবং B থেকে A-এর দূরত্ব 248 m। A বন্দুক ছুড়লে, 1 সেকেন্ড পরে সে তার প্রতিধ্বনি শুনতে পেল। B বন্দুক ছুড়লে 1.75 সেকেন্ড পরে A তার প্রতিধ্বনি শুনল। শব্দের গতিবেগ ও পাহাড় থেকে A-এর দূরত্ব নির্ণয় করো। [Ans. (i) 330.66 m/s, (ii) 165.33 m]

17. (a) একটি পাহাড়ের চূড়ার দিকে অগ্রসর হবার সময় একটি স্টিমার হুইসল বাজাল এবং 10 s পরে তার প্রতিধ্বনি শুনল। 5 মিনিট পরের আবার শব্দ করে 8 s পরে প্রতিধ্বনি শুনল। এখন স্টিমারটি পাহাড় চূড়া থেকে কতদূরে আছে? স্টিমারের গতিবেগ কী? বায়ুতে শব্দের গতিবেগ = 1120 ft/s. [Ans. 4465 ft/s. 72 ft/s]

- (b) গাড়িতে করে একটি পাহাড়ের দিকে যেতে যেতে যখন পাহাড়টি ঠিক 3 km দূরে তখন চালক তাঁর বন্দুক ছুঁড়লেন। গাড়ির বেগ 5 m/s এবং শব্দের বেগ 340 m/s হলে কখন চালক প্রতিধ্বনি শুনতে পাবেন? [Jt. Entrance 2003] [Ans. 17.4 s পরে]

18. দুটি সমান্তরাল পাহাড়ের মধ্যে দাঁড়িয়ে এক ব্যক্তি বন্দুক ছুড়ল। সে $1\frac{1}{2}$ সেকেন্ড এবং $2\frac{1}{2}$ সেকেন্ড পরপর দুটি প্রতিধ্বনি শুনতে পেল। পাহাড় দুটির পারস্পরিক দূরত্ব কত? ঐ ব্যক্তি তৃতীয় প্রতিধ্বনি কখন শুনতে পাবে? শব্দের গতিবেগ = 330 m/s. [Ans. 660 m; 4 সেকেন্ড]

19. (a) একটি প্রতিধ্বনি ছয়টি পদাংশের পুনরাবৃত্তি করল। প্রতিফলকের দূরত্ব কত? শব্দের গতিবেগ = 330 m/s. [Ans. 198 m]

- (b) একটি ত্রিমাত্রিক শব্দের প্রতিধ্বনি শুনতে হলে প্রতিফলক ও শ্রোতার মধ্যে ন্যূনতম দূরত্ব কত হতে হবে? বাতাসে শব্দের গতিবেগ 330 m/s. [Ans. 99 m]

20. পাহাড় বেষ্টিত একটি সুড়ঙ্গের দিকে অগ্রসর হবার সময়, একটি ইঞ্জিন ক্ষণকালের জন্য বংশীধ্বনি করল। তখন পাহাড় থেকে ইঞ্জিনের দূরত্ব ছিল আধ মাইল। 4.5 সেকেন্ড পরে ঐ শব্দের প্রতিধ্বনি ইঞ্জিনে পৌঁছোল। ইঞ্জিনের গতিবেগ 50 মাইল/ঘণ্টা হলে শব্দের গতিবেগ কত? [Ans. 1100 ফুট/সেকেন্ড]

21. 300 মাইল/ঘণ্টা গতিবেগে অনুভূমিক রেখা বরাবর উড়ন্ত একটি বিমান থেকে বুলেট ছোড়া হল। ভূপৃষ্ঠ কর্তৃক প্রতিফলিত প্রতিধ্বনি 4 s পরে পাইলট শুনতে পেল। ভূপৃষ্ঠ থেকে বিমানের উচ্চতা নির্ণয় করো। বায়ুতে শব্দের বেগ = 1120 ft/s. [Jt. Entrance 1985] [Ans. 2860 ft (প্রায়)]

[সংকেত : $h = \frac{1}{2} t \sqrt{V^2 - v^2}$ সমীকরণ প্রয়োগ করো।]

22. সমুদ্রের x গভীরতায় কিছু বিস্ফোরক দ্রব্য রাখা আছে। বিস্ফোরক দ্রব্যের বিস্ফোরণ হলে, হাইড্রোফোনে t_1 এবং t_2 অবকাশে দুটি শব্দ পাওয়া গেল। সমুদ্রজলে শব্দের গতিবেগ V হলে প্রমাণ করো যে সমুদ্রের গভীরতা

$$= x + \frac{V}{2} \sqrt{t_2^2 - t_1^2}$$

23. একটি সমতলীয় চলতরঙ্গকে নিম্নলিখিত সমীকরণ দ্বারা প্রকাশ করা হয়েছে : $y = 0.1 \sin(200\pi x - 20\pi t/17)$.
 $y =$ মিলিমিটারে সরণ, $t =$ সেকেন্ডে সময় এবং x মিটারে কোনো একটি নির্দিষ্ট বিন্দু হতে দূরত্ব। এই তরঙ্গের (i) কম্পাঙ্ক, (ii) তরঙ্গদৈর্ঘ্য, (iii) গতিবেগ নির্ণয় করো। [Ans. (i) 100, (ii) 1.7 m (iii) 170 m/s]

24. বায়ুতে শব্দের বেগ 332 m/s এবং জলে 1440 m/s; শব্দতরঙ্গের ক্ষেত্রে বায়ু হতে জলে প্রতিসরণের সময় আপেক্ষিক প্রতিসরাঙ্ক কত হবে? [Ans. 0.23 (প্রায়)]

$$[\text{সংকেত : } \mu = \frac{\text{বায়ুতে শব্দের বেগ}}{\text{জলে " " " "}}]$$

⇒ কঠিন গাণিতিক প্রশ্ন

1. দুটি সমান্তরাল পর্বতের মধ্যে একটি উপত্যকায় দাঁড়িয়ে একটি বন্দুক ছোড়া হল। একটি পর্বত থেকে প্রতিফলিত প্রতিধ্বনি 2s পরে এবং আর একটি হতে আরও 2s পরে প্রতিধ্বনি শোনা গেল। উপত্যকা কতটা প্রশস্ত? একই অবস্থানে দাঁড়িয়ে পাহাড় দুটি থেকে পরবর্তী প্রতিফলিত প্রতিধ্বনি কি একই সময়ে শোনা সম্ভব? সম্ভব হলে কতক্ষণ পরে? শব্দের গতিবেগ = 360 m/s. [Ans. 1080 মাইল; 6s পরে]

2. 57 metre লম্বা একটি বন্ধ বারান্দার একপ্রান্তে দাঁড়িয়ে এক ব্যক্তি হঠাৎ একটি শব্দ করল এবং শব্দ করবার 2s পরে ষষ্ঠ প্রতিধ্বনি শুনতে পেল। এই সময়কার তাপমাত্রা 17°C হলে, 0°C তাপমাত্রায় শব্দের গতিবেগ কী হবে? [সংকেত : $V_t = V_0 (1 + 0.00183 \times t)$; $t = 17^\circ\text{C}$] [Ans. 331.7 metre/s]

3. একটি পাহাড় থেকে কিছুদূরে দাঁড়িয়ে এক ব্যক্তি নির্দিষ্ট সময় অন্তর বাদ্যযন্ত্রের শব্দ করতে লাগল। যন্ত্রের শব্দের হার বৃদ্ধি করাতে সে দেখতে পেল যে, যখন প্রতি মিনিটে 40টি শব্দ করা হল তখন আর প্রতিধ্বনি স্পষ্ট শোনা গেল না। এই ব্যক্তি তখন পাহাড়ের দিকে আরও 90 metre অগ্রসর হয়ে দেখল যে প্রতি মিনিটে 60টি শব্দ করা হলে আর স্পষ্ট প্রতিধ্বনি শোনা যায় না। পাহাড় থেকে ব্যক্তির দূরত্ব ও শব্দের গতিবেগ নির্ণয় করো। [Ans. 270 metre ; 360 metre/s]

4. সমুদ্রতীরে একটি পর্বতশ্রেণির সম্মুখে দাঁড়িয়ে বন্দুক ছোড়া হল। বন্দুক থেকে 300 metre দূরে ও পর্বতশ্রেণি থেকে সমদূরে অবস্থিত এক ব্যক্তি লক্ষ্য করলেন যে বন্দুকের শব্দ সরাসরি তার নিকটে যেতে যে সময় লাগে, তার প্রতিধ্বনি যেতে তার দ্বিগুণ সময় লাগে। পর্বতশ্রেণি থেকে বন্দুকের দূরত্ব নির্ণয় করো। [Jt. Entrance 1999] [Ans. 225 m]

5. একটি দেওয়াল থেকে 112 ft দূরত্বে দাঁড়িয়ে একটি ব্যক্তি পরপর 6টি পদাংশ উচ্চারণ করল। সে কি সব কয়টি পদাংশের প্রতিধ্বনি শুনতে পাবে? না পেলো, কোন পদাংশের প্রতিধ্বনি স্পষ্ট শোনা যাবে? বায়ুতে শব্দের গতিবেগ = 1120 ft/s. [Ans. শেষ পদাংশ]

6. একটি পাহাড়ের দিকে অগ্রসর হবার সময় জাহাজ থেকে সাইরেন বাজানো হল এবং 6s পরে প্রতিধ্বনি শোনা গেল। 3 মিনিট পরে আবার সাইরেন বাজালে, 4s পরে প্রতিধ্বনি শোনা গেল। জাহাজের গতিবেগ কত ছিল? শব্দের গতিবেগ = 1120 ft/s. [Ans. 6.26 ft/s]

7. একটি দেওয়াল এবং একটি ঘন্টার মাঝে একই লাইনে দুইজন পর্যবেক্ষক A এবং B দাঁড়িয়ে আছে। ঘন্টার শব্দ দেওয়াল কর্তৃক প্রতিফলিত হলে 1s পরে A প্রতিধ্বনি শুনল কিন্তু B শুনল আরও 0.2 সেকেন্ড পরে। A এবং B পর্যবেক্ষকদ্বয়ের ভিতর দূরত্ব কত? বায়ুতে শব্দের বেগ 1100 ft/s. [Ans. 220 ft]

8. একটি হ্রদের পাড়ে দাঁড়িয়ে এক ব্যক্তি হ্রদের ভিতর এক জাহাজের সাইরেনের ধোঁয়া দেখতে পেল কিন্তু সাইরেনের শব্দ শুনল 3s পরে; শব্দ শুনবার 4s পরে সে হ্রদের অপর পাড়ে অবস্থিত পাহাড় কর্তৃক প্রতিফলিত শব্দের প্রতিধ্বনি শুনল। হ্রদের এপাড় হতে ওপাড় পর্যন্ত দূরত্ব কত? শব্দের গতিবেগ = 1100 ft/s. [Ans. 5500 ft.]

9. একটি জাহাজের শব্দ সন্ধানী যন্ত্র তার চারপাশে 3 km ব্যাসার্ধের মধ্যে সাবমেরিনের অস্তিত্ব নিরূপণের জন্য সংকেত পাঠায়। প্রতি মিনিটে এরূপ কয়টি করে ঝালক পাঠানো প্রয়োজন? দেওয়া আছে জলে শব্দের বেগ = 1500 m/s. [Jt. Entrance 1995] [Ans. 15]

10. দেখাও যে, $y = a \sin \omega \left(t - \frac{x}{v} \right)$ এবং $y = a \sin \omega \left(t + \frac{x}{v} \right)$ দুটি প্রগামী তরঙ্গ বোঝাচ্ছে যারা v গতিবেগে

যথাক্রমে ধনাত্মক ও ঋণাত্মক x অভিমুখে চলছে। এর পর্যায়কাল এবং দেশ পর্যায় নির্ণয় করো। $\left[\frac{2\pi}{\omega}; \frac{2\pi v}{\omega} \right]$

11. দুটি শব্দতরঙ্গ একটি বিন্দুতে t সময়ে পৌঁছায় এবং তাদের সমীকরণ $y = y_01 \sin(kx - \omega t)$ এবং $y = y_02 \sin[k(x + \Delta x) - \omega t + \delta_0]$ । তাদের ভিতর দশাপার্থক্য কত? [Ans. $k\Delta x + \delta_0$]



শব্দতরঙ্গ

[SOUND WAVES]

2.1.

শব্দতরঙ্গ অনুদৈর্ঘ্য স্থিতিস্থাপক তরঙ্গ

(Sound waves are longitudinal elastic waves):

নিম্নলিখিত কারণগুলির জন্য আমরা বলতে পারি, মাধ্যমের ভিতর দিয়ে শব্দ স্থিতিস্থাপক তরঙ্গের আকারে বিস্তৃতি লাভ করে।

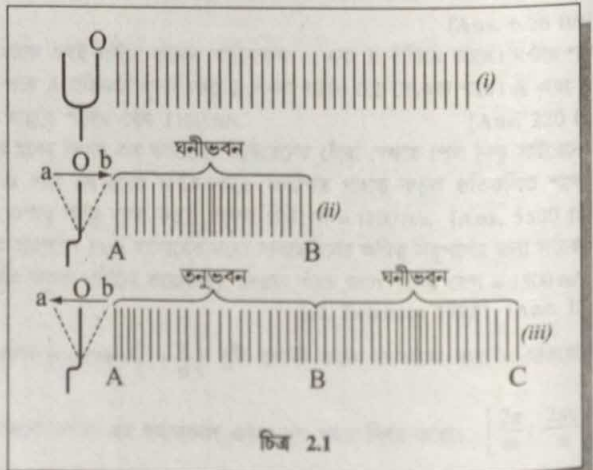
- (1) তরঙ্গের সৃষ্টির জন্য বস্তুর কম্পন প্রয়োজন। শব্দের সৃষ্টির জন্যও বস্তুর কম্পন প্রয়োজন।
- (2) তরঙ্গের এক স্থান থেকে অন্য স্থানে বিস্তৃতি লাভের জন্য কিছু সময়ের প্রয়োজন। শব্দের বেলাতেও তাই।
- (3) শব্দের বিস্তৃতির জন্য মাধ্যমের প্রয়োজন। শূন্য মাধ্যমে শব্দের চলাচল হয় না। স্থিতিস্থাপক অনুদৈর্ঘ্য তরঙ্গের বিস্তৃতির জন্যও মাধ্যমের প্রয়োজন।
- (4) শব্দের সমবর্তন হয় না। তাই শব্দতরঙ্গ অনুদৈর্ঘ্য স্থিতিস্থাপক তরঙ্গ।
- (5) তরঙ্গের বিস্তৃতির সময় মাধ্যম স্থান ত্যাগ করে না। শব্দের বিস্তৃতির সময়ও মাধ্যমের কোনো স্থানচ্যুতি হয় না।

(6) প্রত্যেক তরঙ্গের যেমন প্রতিফলন, প্রতিসরণ ও ব্যতিচার (interference) হয়, শব্দের বেলাতেও তা দেখা যায়।

সুতরাং এই সিদ্ধান্ত করা যায় যে, উৎসের কম্পনের ফলে যে শব্দের সৃষ্টি হয় তা তরঙ্গের আকারে মাধ্যমের ভিতর দিয়ে বিস্তৃতি লাভ করে আমাদের কানে পৌঁছোলে শব্দের অনুভূতি হয়। মাধ্যমের কণাগুলির স্থিতিস্থাপক বিচলনের জন্য এই তরঙ্গের উদ্ভব হয়। উপরোক্ত কারণগুলির জন্য শব্দ স্থিতিস্থাপক অনুদৈর্ঘ্য তরঙ্গ।

● শব্দের বিস্তার কৌশল :

মনে করো, একটি কম্পমান সুরশলাকা থেকে নিঃসৃত শব্দ কানে এসে পৌঁছাচ্ছে। লক্ষ করলে দেখা যাবে সুরশলাকার যে-কোনো বাহু (ধর, O-বাহু) বার বার দক্ষিণে ও বামে (O বিন্দু দিয়ে ab পথে) পর্যাবৃত্ত গতিতে আন্দোলিত হচ্ছে। এই বাহুর সম্মুখে যে বায়ুমণ্ডল আছে তা সুরশলাকার বাহুর সমান্তরালভাবে সমান কতকগুলি স্তরে ভাগ করা আছে কল্পনা করো [চিত্র 2.1 (i)]। আন্দোলিত হয়ে যখন বাহুটি



চিত্র 2.1

a বিন্দু থেকে b বিন্দুর দিকে অগ্রসর হবে তখন সে তার সংলগ্ন বায়ুস্তরকে চাপ দেবে। ফলে বায়ুস্তরটি সঙ্কুচিত হবে। এই বায়ুস্তর আবার তার সম্মুখের বায়ুস্তরকে চাপ দেবে। এইরূপ যতক্ষণ বাহু a বিন্দু থেকে b বিন্দুতে পৌঁছাবে ততক্ষণ এক স্তর থেকে অন্য স্তরে চাপ স্থানান্তরিত হবে। ধরা যাক, O বাহু যখন b বিন্দুতে পৌঁছোল তখন চাপ বায়ুস্তরের B বিন্দুতে পৌঁছোল। অর্থাৎ সুরশলাকার অর্ধকম্পনের ফলে AB বায়ুস্তরের সঙ্কোচন হল। এই সঙ্কোচনকে বলা হয় ঘনীভবন (compression)। এই ঘনীভবন লক্ষ্য করলে দেখা যাবে যে স্তরগুলি সর্বত্র সমান ঘন নয়। কারণ, O বাহুর বেগ ab পথে র মধ্যবিন্দুতে সর্বাপেক্ষা বেশি। সুতরাং AB ঘনীভবনের মধ্যস্থলের স্তরগুলি সর্বাপেক্ষা ঘন [2.1 (ii) নং চিত্র]।

তারপর O বাহু b বিন্দু থেকে a বিন্দুর দিকে অগ্রসর হবে। ফলে, তার পশ্চাতে আংশিক শূন্যতার (partial vacuum) সৃষ্টি হয়। বায়ু স্থিতিস্থাপক মাধ্যম বলে O -বাহুর সংলগ্ন স্তর তৎক্ষণাৎ সেই শূন্যস্থান অধিকার করার জন্য ছুটে যায়। ফলে, তার পরের স্তরের চাপ কমে যাওয়াতে সে-ও পিছনে চলে আসে। এইভাবে যতক্ষণ O বাহু b থেকে a বিন্দুতে পৌঁছায় ততক্ষণ স্তর থেকে স্তরে প্রসারণ সম্ভাবিত হয় অর্থাৎ AB স্তরগুলি ফাঁক ফাঁক হয়ে পড়ে। একে তনুভবন (rarefaction) বলে। সুতরাং সুরশলাকার বাকি অর্ধকম্পনের ফলে একটি তনুভবনের সৃষ্টি হয়। কিন্তু এই সময়ের ভিতর পূর্বের ঘনীভবন যা AB পর্যন্ত বিস্তৃত ছিল তা সম্মুখে অগ্রসর হয়ে BC পর্যন্ত বিস্তার লাভ করে [2.1 (iii) নং চিত্র]। এখানেও পূর্বোক্ত একই কারণে তনুভবনের স্তরগুলি সর্বত্র সমান ফাঁক নয়। মধ্যস্থলে ফাঁক সর্বাপেক্ষা বেশি।

সুতরাং দেখা গেল, সুরশলাকার একটি পূর্ণকম্পনে একটি ঘনীভবন ও একটি তনুভবন সৃষ্টি হয়। যতক্ষণ সুরশলাকার কম্পন চলবে ততক্ষণ এইরূপ পর্যায়ক্রমে ঘনীভবন ও তনুভবন সৃষ্টি হবে এবং তারা পারস্পরিক অবস্থান ঠিক রেখে বায়ু মাধ্যমের ভিতর দিয়ে সম্মুখে অগ্রসর হবে। এই ঘনীভবন ও তনুভবনের দৈর্ঘ্য সমান কারণ এরা সুরশলাকার প্রত্যেক অর্ধ-কম্পনে গঠিত হয়। এদের মিলিত দৈর্ঘ্যকে তনুভবনের দৈর্ঘ্য বলা হয়। এইরূপ ঘনীভবন ও তনুভবন দ্বারা সৃষ্ট অনুদৈর্ঘ্য স্থিতিস্থাপক তরঙ্গ বায়ু মাধ্যম অবলম্বন করে অগ্রসর হয়ে যখন আমাদের কানে পৌঁছায় তখন আমরা শব্দ শুনি।

2.2. শব্দের নির্দিষ্ট বেগ আছে (Sound has a definite velocity):

প্রত্যেক তরঙ্গের যেমন নির্দিষ্ট বেগ থাকে তেমনি শব্দতরঙ্গেরও একটি নির্দিষ্ট বেগ আছে। তোমরা লক্ষ্য করে থাকবে, যখন বিদ্যুৎ চমকায় তখন বালক দেখার বেশ কিছুক্ষণ পরে মেঘের গর্জন শোনা যায়। প্রকৃতপক্ষে উভয়েই একসঙ্গে হয়। মেঘ ও পৃথিবীর ভিতরকার দূরত্ব অতিক্রম করতে শব্দের খানিকটা সময়ের প্রয়োজন হয়। কিন্তু আলোর গতিবেগ প্রতি সেকেন্ডে প্রায় এক লক্ষ ছিয়াশি হাজার মাইল বলে মেঘ থেকে পৃথিবীতে আলো আসতে কোনো সময় লাগে না বলেই ধরা যেতে পারে। সেইজন্য আলোর বালক সঙ্গে সঙ্গে দেখলেও শব্দ সঙ্গে সঙ্গে শোনা যায় না। দূর থেকে ট্রেন বংশীধ্বনি করলে ধোঁয়া দেখার খানিকক্ষণ পরে শব্দ শোনা যায়; যদিও বংশীধ্বনির সঙ্গে সঙ্গে ধোঁয়া বার হয়। দূর থেকে ক্রিকেট খেলা দেখার সময় তোমরা অনেকেই দেখেছ যে ব্যাটে ও বলে সংঘাত হবার কিছুক্ষণ পরে শব্দ কানে পৌঁছায়। এই সমস্ত সাধারণ অভিজ্ঞতা থেকে আমরা জানতে পারি যে দূরত্ব অতিক্রম করতে শব্দের কিছু সময়ের প্রয়োজন হয় অথবা শব্দ নির্দিষ্ট বেগে চলে। পরীক্ষা করে দেখা গেছে 0°C তাপমাত্রাতে বায়ুমাধ্যমে শব্দের বেগ প্রতি সেকেন্ডে প্রায় 332 মিটার। সাধারণ ক্ষেত্রে অল্প দূরত্বের ভিতর শব্দ সঙ্গে সঙ্গে শোনা গেলেও দূরত্ব বাড়লেই শব্দের বেগ স্পষ্ট প্রতীয়মান হবে।

□ EXAMPLE □

একটি বৃত্তাকার ক্রিকেট মাঠের উত্তর থেকে দক্ষিণে বায়ু 36 km/h বেগে বয়ে যাচ্ছে। মাঠের কেন্দ্রে ব্যাট দ্বারা বলকে আঘাত করার শব্দ উত্তর প্রান্তে $\frac{13}{44}$ সেকেন্ড পরে এবং

দক্ষিণ প্রান্তে $\frac{3}{11}$ সেকেন্ড পরে শোনা গেল। স্থির বায়ুতে শব্দের গতিবেগ কত? মাঠের পূর্ব বা পশ্চিম প্রান্তে কতক্ষণ পরে শব্দ শোনা যাবে?

উঃ। বায়ুর গতিবেগ = $36 \text{ km/h} = \frac{36 \times 1000}{60 \times 60} = 10 \text{ m/s}$; মাঠের কেন্দ্র থেকে উত্তরদিকে শব্দের

আপেক্ষিক গতিবেগ = $(V - 10) \text{ m/s}$ [যদি স্থির বায়ুতে শব্দের গতিবেগ ধরা যায় = $V \text{ m/s}$ ।] বৃত্তাকার মাঠের ব্যাসার্ধ r মিটার হলে, শব্দ মাঠের কেন্দ্র থেকে উত্তরপ্রান্তে পৌঁছাতে যে সময় নেবে তা

$$= \frac{r}{V - 10} \text{ s}, \therefore \frac{r}{V - 10} = \frac{13}{44} \dots (i)$$

আবার মাঠের কেন্দ্র থেকে দক্ষিণদিকে শব্দের আপেক্ষিক গতিবেগ = $(V + 10) \text{ m/s}$; অতএব, কেন্দ্র

$$\text{থেকে দক্ষিণ প্রান্তে শব্দ পৌঁছাতে সময় লাগবে} = \frac{r}{V + 10} \therefore \frac{r}{V + 10} = \frac{3}{11} \dots (ii)$$

$$(i) \text{ এবং } (ii) \text{ নং সমীকরণ থেকে পাই, } \frac{13}{44}(V - 10) = \frac{3}{11}(V + 10)$$

$$\text{অথবা, } 13V - 130 = 12V + 120 \therefore V = 250 \text{ m/s.}$$

$$V\text{-এর মান } (ii) \text{ নং সমীকরণে বসালে পাই, } r = \frac{3}{11} \times 260 = 71 \text{ m (প্রায়)।}$$

এখন, মাঠের কেন্দ্র থেকে পূর্ব বা পশ্চিম প্রান্তে যেতে শব্দতরঙ্গ বায়ুপ্রবাহ দ্বারা কোনোরূপে প্রভাবিত হবে না (কারণ বায়ু উত্তর-দক্ষিণ বরাবর বয়ে যাচ্ছে)। শব্দতরঙ্গ গতিবেগ 250 m/s থাকবে।

$$\text{কাজেই পূর্ব বা পশ্চিম প্রান্তে শব্দ পৌঁছাবার সময় } \frac{r}{V} = \frac{71}{250} \text{ s} = 0.284 \text{ s.}$$

2.3.

গ্যাস মাধ্যমে শব্দের গতিবেগ সম্পর্কিত নিউটনের সূত্র

(Newton's formula for the velocity of sound in gases):

কোনো গ্যাস-মাধ্যমের ভিতর দিয়ে যখন শব্দতরঙ্গ বিস্তার লাভ করে তখন তার গতিবেগ সম্পর্কে

নিউটন তত্ত্বমূলক আলোচনা করেন এবং গতিবেগের যে সূত্র নির্ধারণ করে তা হলঃ $V = \sqrt{\frac{E}{\rho}}$;

V = শব্দের বেগ; E = মাধ্যমের স্থিতিস্থাপক গুণাঙ্ক এবং ρ = মাধ্যমের ঘনত্ব। E কোন স্থিতিস্থাপক গুণাঙ্ক বোঝাবে তা মাধ্যমের প্রকৃতির উপর নির্ভর করে।

এখন গ্যাস মাধ্যমে শব্দ অনুদৈর্ঘ্য তরঙ্গ সৃষ্টি করে বিস্তার লাভ করে এবং গ্যাসের শুষ্ক আয়তন-বিকৃতি গুণাঙ্ক (bulk elasticity) আছে। সুতরাং উপরিউক্ত সমীকরণে V অনুদৈর্ঘ্য শব্দতরঙ্গের বেগ বোঝাবে এবং E গ্যাসের আয়তন বিকৃতি গুণাঙ্ক বোঝাবে। সুতরাং গ্যাসে বা বায়ুতে শব্দের বেগ

$$\text{সম্পর্কিত নিউটনের সূত্র হবে } V = \sqrt{\frac{k}{\rho}}; k = \text{গ্যাসের আয়তন বিকৃতি গুণাঙ্ক।}$$

যে তত্ত্বমূলক আলোচনা দ্বারা নিউটন উপরিউক্ত সূত্র প্রতিষ্ঠা করেন তাতে তিনি বলেছিলেন যে, বায়ু বা গ্যাসীয় মাধ্যমে শব্দতরঙ্গের বিস্তারের সময় মাধ্যম খুব ধীরে ধীরে পর্যায়ক্রমে তনুভূত ও ঘনীভূত হয় এবং সঙ্গে সঙ্গে মাধ্যমের চাপ ও ঘনত্বের পরিবর্তন ঘটে। একটি ঘনীভবনের জন্য মাধ্যমের কোনো একটি স্তরে যে তাপের সৃষ্টি হয় তা পরবর্তী তনুভবন শুরুর হবার পূর্বেই পার্শ্ববর্তী স্তরগুলিতে পরিবাহিত হয়।

একইভাবে তনুভবনের জন্য যে শীতলতার সম্ভার হয় তা ঐ বায়ুস্তরে আবদ্ধ থাকে না। পরবর্তী স্তরগুলি থেকে তাপ শোষণ করে সমতা বজায় রাখে। ফলে ঐ স্তরের তাপমাত্রার কোনোরূপ পরিবর্তন হয় না। তাই, নিউটনের মতে শব্দতরঙ্গের বিস্তৃতি মাধ্যমের সমোষ্ণ (isothermal) অবস্থায় সংঘটিত হয়। সমোষ্ণ অবস্থায় প্রমাণ করা যায় গ্যাসের আয়তন বিকৃতি গুণাঙ্ক k উক্ত গ্যাসের চাপের সমান। অতএব গ্যাসের

চাপ P ধরলে নিউটনের সূত্রকে নিম্নলিখিতরূপে প্রকাশ করা যেতে পারে : $V = \sqrt{\frac{P}{\rho}}$.

সি.জি.এস. পদ্ধতি অনুযায়ী P -কে dyne/cm² এবং ρ -কে g/cm³ এককে প্রকাশ করতে হবে। এস্. আই. পদ্ধতিতে P -কে newton/m² এবং ρ -কে kg/m³ এককে প্রকাশ করতে হবে।

[দ্রষ্টব্য : তাপমাত্রার পরিবর্তন না হলে (সমোষ্ণ অবস্থায়) গ্যাসের আয়তন-বিকৃতি গুণাঙ্ক গ্যাসের চাপের সমান হয়; তা নিম্নলিখিতরূপে প্রমাণ করা যায়।

মনে করো, কিছু পরিমাণ গ্যাসের আয়তন ও চাপ যথাক্রমে V এবং P ; ধরো, চাপ অতি সামান্য p পরিমাণ বর্ধিত করা হল এবং তার ফলে আয়তন v পরিমাণ কমে গেল। তাপমাত্রার পরিবর্তন না হলে, বয়েল সূত্র থেকে লেখা যায় $P.V = (P + p)(V - v)$ অথবা, $P.V = PV - Pv + p.V - p.v$. অথবা, $Pv = pV [p.v]$ খুব ক্ষুদ্র বলে উপেক্ষণীয়।

$$\text{অথবা, } P = \frac{pV}{v} = \frac{p}{v/V} = \frac{\text{আয়তন পীড়ন}}{\text{আয়তন বিকৃতি}}$$

এক্ষেত্রে p হল আয়তন পীড়ন এবং v/V হল আয়তন বিকৃতি; এদের অনুপাত আয়তন-বিকৃতি গুণাঙ্কের (k) সমান।

$$\text{কাজেই } P = \frac{p}{v/V} = k.]$$

2.4.

প্রমাণ তাপমাত্রা ও চাপে বায়ুতে শব্দের বেগ (Velocity of sound in air at N.T.P.):

প্রমাণ বায়ুচাপ $P = 0.76$ m পারদশীর্ষের চাপ $= 0.76 \times (13.6 \times 10^3) \times 9.8 = 1.013 \times 10^5$ newton/m²

প্রমাণ তাপমাত্রা (0°C) ও উপরিউক্ত চাপে বায়ুর ঘনত্ব $\rho = 1.293$ kg/m³

সুতরাং, নিউটনের সূত্র থেকে বায়ুতে শব্দের বেগ $V = \sqrt{\frac{P}{\rho}} = \sqrt{\frac{1.013 \times 10^5}{1.293}} = 280$ m/s (প্রায়)।

কিন্তু পরীক্ষা করে দেখা গেছে, প্রমাণ তাপমাত্রা ও চাপে বায়ুতে শব্দের বেগ হয় প্রায় 332 m/s অর্থাৎ নিউটনের সূত্র থেকে প্রাপ্ত ফলাফলে প্রায় 16% ভুল আসছে। একে যান্ত্রিক ত্রুটি বলে অগ্রাহ্য করা যায় না। পরীক্ষালব্ধ ফল এবং নিউটনের সূত্র থেকে প্রাপ্ত ফলের ভিতর যথেষ্ট পার্থক্য থাকায় বলা যায়, নিউটনের সূত্রের কোথাও ত্রুটি আছে।

2.5.

ল্যাপল্যাস্ কর্তৃক নিউটনের সূত্র সংশোধন

(Laplace's correction of Newton's formula):

নিউটনের সূত্রের ত্রুটি নির্ধারণ করেন ফরাসি গণিতবিদ ল্যাপল্যাস্। তিনি তার প্রয়োজনীয় সংশোধনও করেন। গ্যাস মাধ্যমে শব্দতরঙ্গের বিস্তার হলে গ্যাসের তাপমাত্রার কোনো পরিবর্তন হয় না—নিউটনের এই সিদ্ধান্ত সম্বন্ধে ল্যাপল্যাস্ সন্দেহ প্রকাশ করেন। তিনি বলেন, বায়ুস্তরে ঘনীভবন ও তনুভবন এত দ্রুত সম্পাদিত হয় যে তার দরুন তাপবৃদ্ধি ও তাপহ্রাস অবশ্যস্বাভাবী। এতে বায়ুস্তরের তাপমাত্রা পরিবর্তন হতে বাধ্য। গ্যাসের তাপ পরিবাহিতা ও বিকিরণ ক্ষমতা কম বলে এইরূপ ঘটবে। মোটের উপর শব্দতরঙ্গের বিস্তৃতি মাধ্যমের সমোষ্ণ অবস্থায় সংঘটিত হয় না; মাধ্যমের বৃদ্ধতাপ (adiabatic) অবস্থায় সংঘটিত হয়। এটাই ছিল ল্যাপল্যাসের যুক্তি।

গ্যাসের তাপমাত্রা পরিবর্তিত হলে (অর্থাৎ রুদ্ধতাপ প্রক্রিয়ায়) প্রমাণ করা যায় যে, $PV = \text{ধ্রুবক নয়}$;

$$PV^\gamma = \text{ধ্রুবক। এক্ষেত্রে } \gamma = \frac{\text{স্থির চাপে গ্যাসের আপেক্ষিক তাপ}}{\text{স্থির আয়তনে " " " "}}$$

এখন চাপ P যদি অতি সামান্য পরিমাণ (p) বৃদ্ধি পায় এবং তার ফলে নির্দিষ্ট পরিমাণ বায়ুর আয়তন V যদি v পরিমাণ হ্রাস পায়, তবে

$$P \cdot V^\gamma = (P + p)(V - v)^\gamma = V^\gamma (P + p) \left(1 - \frac{v}{V}\right)^\gamma$$

বাইনোমিয়াল উপপাদ্য অনুসারে লেখা যায়,

$$PV^\gamma = V^\gamma (P + p) \left(1 - \frac{v}{V}\right)^\gamma \left[\frac{v}{V} \text{ খুব ক্ষুদ্র হওয়ায় উচ্চ ঘাতের মান অগ্রাহ্য করা যায়।} \right]$$

$$P = (P + p) \left(1 - \frac{v}{V}\right)^\gamma = P - \frac{\gamma \cdot P \cdot v}{V} + p - \frac{\gamma p v}{V} = P - \frac{\gamma P \cdot v}{V} + p [p \cdot v \text{ খুব ক্ষুদ্র}]$$

$$\text{অথবা, } p = \frac{\gamma \cdot P \cdot v}{V} \text{ বা } \gamma \cdot P = p + \frac{v}{V} = \frac{\text{আয়তন পীড়ন}}{\text{আয়তন বিকৃতি}} = \text{আয়তন বিকৃতি গুণাঙ্ক।}$$

\therefore বায়ুর আয়তন বিকৃতি গুণাঙ্ক $k = \gamma \cdot P$.

উপরিউক্ত সিদ্ধান্ত অনুযায়ী গ্যাস মাধ্যমে শব্দের বেগ নিম্নলিখিত সূত্রানুযায়ী নির্ণীত হবে :

$$V = \sqrt{\frac{\gamma P}{\rho}}; \text{ বায়ুর বেলাতে } \gamma = 1.41 \text{ সুতরাং, } V = \sqrt{\frac{1.41 \times P}{\rho}}$$

প্রমাণ তাপমাত্রা ও চাপে ল্যাপল্যাসের সংশোধিত সূত্র প্রয়োগ করলে বায়ুতে শব্দের বেগ দাঁড়াবে $V = 280 \sqrt{1.41} = 332.3 \text{ m/s}$ । এটা পরীক্ষালব্ধ ফলের সাথে প্রায় মিলে যায়। সুতরাং এই মিল ল্যাপল্যাসের যুক্তির যথার্থতা প্রমাণ করে।

2.6.

গ্যাস মাধ্যমে শব্দের বেগের উপর গ্যাসের ঘনত্ব, চাপ, তাপমাত্রা ও আর্দ্রতার প্রভাব (Dependence of velocity of sound on density, pressure, temperature and humidity of a gas) :

(i) ঘনত্বের প্রভাব : মনে করো, দুটি গ্যাসে শব্দের বেগের তুলনা করা হচ্ছে। তাদের ঘনত্ব ρ_1 এবং ρ_2 ; তাদের চাপ ও তাপমাত্রা সমান এবং তারা যথাক্রমে P ও T ; উক্ত গ্যাস দুটির মধ্যে শব্দের বেগ যথাক্রমে V_1 ও V_2 ধরলে

$$V_1 = \sqrt{\frac{\gamma P}{\rho_1}} \text{ এবং } V_2 = \sqrt{\frac{\gamma P}{\rho_2}} \quad \therefore \frac{V_1}{V_2} = \sqrt{\frac{\rho_2}{\rho_1}} \text{ বা, } V \propto \frac{1}{\sqrt{\rho}}$$

সুতরাং কোনো গ্যাস মাধ্যমে শব্দের বেগ ঐ গ্যাসের ঘনত্বের বর্গমূলের ব্যস্তানুপাতিক। যেমন, হাইড্রোজেন ও অক্সিজেনের কথা ধরা যাক। অক্সিজেনের ঘনত্ব হাইড্রোজেনের 16 গুণ; সুতরাং চাপ ও তাপমাত্রা অপরিবর্তিত থাকলে অক্সিজেনে শব্দের গতিবেগ হাইড্রোজেনে শব্দের গতিবেগের $\frac{1}{4}$ ভাগ হবে।

উপরোক্ত আলোচনায় উভয় গ্যাসের γ -র মান সমান ধরা হয়েছে। গ্যাস দুটির প্রত্যেকটির অণুতে যদি

সমান সংখ্যক পরমাণু থাকে, তবেই তাদের γ -র মান সমান হয়। গ্যাসের অণুতে বিভিন্ন সংখ্যক পরমাণু থাকলে γ -র মান সমান হবে না। তখন γ -র উপযুক্ত মান বসিয়ে হিসাব করতে হবে।

(ii) চাপের প্রভাব : কোনো গ্যাসের চাপ P ও ঘনত্ব ρ হলে বয়েল সূত্র থেকে প্রমাণ করা যায়, $P \propto \rho$ যদি তাপমাত্রা অপরিবর্তিত থাকে। অর্থাৎ, $\frac{P}{\rho} = \text{ধ্রুবক}$ ।

সুতরাং চাপ পরিবর্তন করলে ঘনত্ব পরিবর্তিত হবে, কিন্তু $\frac{P}{\rho}$ সর্বদা ধ্রুবক থাকবে এবং শব্দের বেগ

$$V = \sqrt{\frac{\gamma P}{\rho}} \text{ হওয়ায় বেগের কোনো পরিবর্তন হবে না।}$$

(iii) তাপমাত্রার প্রভাব : গ্যাসের তাপমাত্রা পরিবর্তিত হলে তার ঘনত্বের পরিবর্তন হয়; সুতরাং শব্দের বেগেরও পরিবর্তন হয়। ধরো, 0°C এবং $t^\circ\text{C}$ তাপমাত্রায় বায়ুর ঘনত্ব যথাক্রমে ρ_0 এবং ρ_t ; উক্ত দুই তাপমাত্রায় শব্দের বেগ ধরা হল V_0 এবং V_t ।

$$\text{তাহলে } V_0 = \sqrt{\frac{\gamma P}{\rho_0}} \text{ এবং } V_t = \sqrt{\frac{\gamma P}{\rho_t}} \quad \therefore \frac{V_t}{V_0} = \sqrt{\frac{\rho_0}{\rho_t}}$$

$$\text{এখন চার্লস সূত্র থেকে পাই, } \frac{\rho_0}{\rho_t} = \frac{T}{T_0} \quad \therefore \frac{V_t}{V_0} = \sqrt{\frac{T}{T_0}} \text{ অর্থাৎ } V \propto \sqrt{T}.$$

[T এবং T_0 হল $t^\circ\text{C}$ এবং 0°C তাপমাত্রার প্রাসঙ্গিক পরম স্কেল তাপমাত্রা।]

অতএব, গ্যাসে শব্দের গতিবেগ ঐ গ্যাসের পরম তাপমাত্রার বর্গমূলের সমানুপাতিক।

● শব্দের বেগের তাপমাত্রা গুণাঙ্ক (Temperature co-efficient of velocity of sound) :

$$T = t^\circ\text{C} = (t + 273) \text{ K এবং } T_0 = 0^\circ\text{C} = 273 \text{ K}$$

$$\text{কাজেই, } \frac{V_t}{V_0} = \sqrt{\frac{273+t}{273}} = \sqrt{1 + \frac{t}{273}} = \left(1 + \frac{t}{273}\right)^{\frac{1}{2}} = 1 + \frac{1}{2} \times \frac{t}{273} = 1 + \frac{t}{546}$$

$$\therefore V_t = V_0 \left(1 + \frac{t}{546}\right); V_0 = 332 \text{ m/s ধরে নিলে, } V_t = 332 \left(1 + \frac{t}{546}\right) = 332 + 0.61t \text{ (প্রায়)।}$$

অর্থাৎ, বায়ুতে বা যে-কোনো গ্যাসে 0°C তাপমাত্রায় শব্দের যে-বেগ হয় প্রতি 1°C তাপমাত্রা বৃদ্ধি বা হ্রাসের জন্য ঐ বেগ সেকেন্ডে প্রায় 0.61 মিটার অথবা 61 cm বৃদ্ধি বা হ্রাস পায়। একে বায়ুতে শব্দের বেগের তাপমাত্রা গুণাঙ্ক বলা হয়।

[বিকল্প পদ্ধতি : ধরা যাক, কোনো গ্যাসের এক গ্রাম-অণুর ভর = M এবং আয়তন = v ; তার

$$\text{ঘনত্ব } \rho = \frac{M}{v}. \text{ কাজেই, ঐ গ্যাসে শব্দের গতিবেগ } V = \sqrt{\frac{\gamma P}{\rho}} = \sqrt{\frac{\gamma \cdot P \cdot v}{M}}; \text{ কিন্তু এক গ্রাম-অণু}$$

গ্যাসের বেলায় $P \cdot v = R_0 \cdot T$; R_0 = সর্বজনীন গ্যাস ধ্রুবক এবং T = গ্যাসের পরম তাপমাত্রা।

$$\text{কাজেই, } V = \sqrt{\frac{\gamma \cdot R_0 \cdot T}{M}}.$$

$$(ক) \text{ একই ধরনের আণবিক কাঠামোযুক্ত গ্যাসের বেলায় } \gamma \text{ এবং } R_0 \text{ ধ্রুবক বলে, } V \propto \frac{1}{\sqrt{M}} \propto \frac{1}{\sqrt{\rho}}$$

যখন তাপমাত্রা অপরিবর্তিত থাকছে। অতএব শব্দের গতিবেগ গ্যাসের ঘনত্বের বর্গমূলের ব্যস্তানুপাতিক।

(খ) যদি তাপমাত্রা T স্থির রাখা যায় তাহলে উপরোক্ত সমীকরণ থেকে বোঝায় যে শব্দের গতিবেগ গ্যাসের চাপের উপর নির্ভর করে না কারণ চাপের পরিবর্তনে যে-কোনো গ্যাসের ক্ষেত্রে γ, M এবং R_0 পরিবর্তন করে না।

(গ) নির্দিষ্ট পরিমাণ গ্যাসের বেলায়, γ, R_0 এবং M অপরিবর্তিত থাকে বলে, উপরোক্ত সমীকরণ থেকে পাই যে, $V \propto \sqrt{T}$; গ্যাসের ভিতর শব্দের গতিবেগ গ্যাসের পরম তাপমাত্রার বর্গমূলের সমানুপাতিক।]

(iv) আর্দ্রতার প্রভাব: গ্যাসের আর্দ্রতা বৃদ্ধি পেলে ঐ গ্যাসের মধ্য দিয়ে শব্দের বেগ সামান্য বৃদ্ধি পায়। কারণ, একই তাপমাত্রা ও চাপে জলীয় বাষ্পের ঘনত্ব শুষ্ক বায়ুর ঘনত্বের $\frac{5}{8}$ ভাগ। সুতরাং, বায়ু আর্দ্র হলে তার ঘনত্ব কমে যায় এবং ঐ বায়ুতে শব্দের বেগ বেড়ে যায়।

$V_d = P$ cm পারদ চাপে এবং $t^\circ C$ তাপমাত্রায় শুষ্ক বায়ুতে শব্দের বেগ; V_m = ঐ চাপ ও তাপমাত্রায় সিস্ত বায়ুতে শব্দের বেগ এবং $t^\circ C$ তাপমাত্রায় জলীয় বাষ্পের সংপৃক্ত চাপ f cm পারদ হলে, প্রমাণ করা যায়,

$$V_m = V_d \left(1 + 0.189 \frac{f}{P} \right).$$

ধরো, ঘরের তাপমাত্রা $20^\circ C$; ঐ তাপমাত্রায় $f = 1.74$ cm পারদ। সুতরাং $\frac{f}{P} = \frac{1.74}{76} = 0.029$;
এ অবস্থায় $V_m = V_d (1 + 0.189 \times 0.0231) = 1.0043 \times V_d$ অর্থাৎ V_m মাত্র 0.43% বৃদ্ধি পায়।

EXAMPLES

১. দূরবর্তী একটি কেল্লার তোপধ্বনি শুনে এক ব্যক্তি হাত-ঘড়ি ঠিক করল। পরে সে দেখল যে তার ঘড়ি 2 সেকেন্ড 'স্লো' যাচ্ছে। ঐ সময়ে উষ্ণতা $15^\circ C$ হলে এবং $0^\circ C$ উষ্ণতায় শব্দের গতিবেগ 332 metre/s ধরলে, ব্যক্তি থেকে কেল্লার দূরত্ব কত ছিল?

উঃ। ঘড়ি 2 সেকেন্ড 'স্লো' গেল এর অর্থ, কেল্লা থেকে ব্যক্তি পর্যন্ত পৌছাতে শব্দের 2 সেকেন্ড সময় লাগল। এখন, $V_t = V_0 (1 + 0.00183 \times t)$ এক্ষেত্রে $V_0 = 332$ metre/s; $t = 15^\circ C$

কাজেই, $V_t = 332 (1 + 0.00183 \times 15) = 332 \times 1.027 = 341$ metre/s (প্রায়)।

2 সেকেন্ড সময় শব্দ যে দূরত্ব যায় তা $= 2 \times 341 = 682$ metre.

অতএব, ব্যক্তি থেকে কেল্লার দূরত্ব = 682 m.

২. $51^\circ C$ উষ্ণতায় কোনো গ্যাসের ভিতর শব্দের গতিবেগ 340 m/s. গ্যাসের চাপ দ্বিগুণ করলে এবং উষ্ণতা বৃদ্ধি করে $127^\circ C$ করলে শব্দের গতিবেগ কত হবে?

উঃ। চাপের পরিবর্তনে শব্দের বেগের কোনো পরিবর্তন হয় না; এক্ষেত্রে শুধু উষ্ণতার পরিবর্তনে বেগের কত পরিবর্তন হবে তাই নির্ণয় করতে হবে। এখন, $51^\circ C = (51 + 273) = 324 K (T_1)$ এবং $127^\circ C = (127 + 273) = 400 K (T_2)$.

$$\text{এখন, } \frac{V_{127}}{V_{51}} = \sqrt{\frac{T_2}{T_1}} = \sqrt{\frac{400}{324}} \text{ অথবা, } V_{127} = \sqrt{\frac{400}{324}} \times V_{51} = \frac{10}{9} \times 340 = 377.78 \text{ m/s.}$$

(প্রায়)।

৩. 78.4 m গভীর একটি কুয়ার মধ্যে একটি পাথর ফেললে 4.23 সেকেন্ড পরে পাথরটির জলস্পর্শ করার শব্দ শোনা গেল। বায়ুতে শব্দের বেগ নির্ণয় করো। $g = 9.8 \text{ m/s}^2$.

উঃ। মনে করো, কুয়ার তলায় পৌছাতে পাথরটির t সেকেন্ড সময় লাগল। $S = \frac{1}{2} g t^2$

সমীকরণে $S = 78.4 \text{ m}$; $g = 9.8 \text{ m/s}^2$. বসালে পাই, $78.4 = \frac{1}{2} \times 9.8 \times t^2$ অথবা, $t^2 = \frac{78.4 \times 2}{9.8} = 16$

$\therefore t = 4$ সেকেন্ড।

অতএব, কুয়ার তলা থেকে উপরে পৌছোতে অথবা 78.4 m যেতে শব্দের $(4.23 - 4) = 0.23$ সেকেন্ড সময় লাগল। সুতরাং শব্দের গতিবেগ $= \frac{78.4}{0.23} = 340.87 \text{ m/s}$.

④ এক ব্যক্তি বজ্রের ঝলক দেখার 2.5 সেকেন্ড পরে শব্দ শুনতে পেল। বায়ু 30°C উষ্ণতায় জলীয় বাষ্পে সংপৃক্ত ছিল ধরে বজ্রপাতের স্থান থেকে ঐ ব্যক্তির দূরত্ব নির্ণয় করো। 30°C উষ্ণতায় সংপৃক্ত জলীয় বাষ্পচাপ $= 1.9 \text{ cm}$ পারদ এবং 0°C উষ্ণতায় শুষ্ক বায়ুতে শব্দের বেগ $= 330 \text{ m/s}$.

উঃ। জলীয় বাষ্পে সংপৃক্ত বায়ুতে শব্দের বেগ $V_m = V_d \left(1 + 0.189 \frac{f}{P}\right)$

কিন্তু $t^\circ\text{C}$ উষ্ণতায় শব্দের বেগ $V_d = V_0 \left(1 + \frac{t}{546}\right)$

$$\begin{aligned} \text{অতএব, } 30^\circ\text{C উষ্ণতায় } V_m &= V_0 \left(1 + \frac{30}{546}\right) \left(1 + 0.189 \times \frac{f}{P}\right) \\ &= 330 \left(1 + \frac{30}{546}\right) \left(1 + 0.189 \times \frac{19}{76}\right) \\ &= 330 (1 + 0.0549) (1 + 0.189 \times 0.025) \\ &= 330 \times 1.0549 \times 1.0047 \\ &= 349.75 \text{ m/s} \end{aligned}$$

অতএব, বজ্রপাতের স্থান থেকে ব্যক্তির দূরত্ব $=$ গতিবেগ \times সময়
 $= 349.75 \times 2.5 \text{ metre}$
 $= 874.38 \text{ metre (প্রায়)}।$

⑤ বৃহস্পতি গ্রহের চতুর্দিকের আবহমণ্ডল অ্যামোনিয়া এবং মিথেন গ্যাসের মিশ্রণে তৈরি। এর উষ্ণতা -130°C . এই মিশ্রণের γ -এর মান 1.3 এবং আণবিক ভর 16.5 হলে বৃহস্পতি গ্রহে শব্দের বেগ নির্ণয় করো। গ্যাস-ধ্রুবক $R_0 = 8.3 \text{ joule/K-mol}$.

উঃ। অ্যামোনিয়া এবং মিথেন গ্যাসের মিশ্রণের আণবিক ভর $= 16.5$ —অর্থাৎ মিশ্রণের 1 g-molecule $= 16.5 \text{ g}$ । মিশ্রণের ঘনত্ব ρ ধরলে, 1 g-molecule মিশ্রণের আয়তন $V_0 = \frac{16.5}{\rho} \text{ cm}^3$.

এখন, আদর্শ গ্যাস সমীকরণ থেকে পাই, $PV_0 = R_0 T$ [$T = -130 + 273 = 143 \text{ K}$]

$$\text{অথবা, } P = \frac{R_0 T}{V_0} = \frac{8.3 \times 10^7 \times 143 \times \rho}{16.5} \quad \therefore \frac{P}{\rho} = \frac{8.3 \times 10^7 \times 143}{16.5}$$

[$R_0 = 8.3 \text{ joule} = 8.3 \times 10^7 \text{ erg}$]

$$\text{এখন শব্দের গতিবেগ } V = \sqrt{\frac{\gamma \cdot P}{\rho}} = \sqrt{\frac{1.3 \times 8.3 \times 10^7 \times 143}{16.5}} = 30580 \text{ cm/s} = 305.8 \text{ m/s}.$$

বিকল্প পদ্ধতি : আমরা জানি কোনো গ্যাসে শব্দের বেগ $V = \sqrt{\frac{\gamma \cdot R_0 T}{M}}$

এখানে $\gamma = 1.3$, $R_0 = 8.3 \text{ J/K mol}$; $T = 143 \text{ K}$; $M = 16.5 \times 10^{-3} \text{ kg}$

$$\therefore V = \sqrt{\frac{1.3 \times 8.3 \times 143}{16.5 \times 10^{-3}}} = 305.8 \text{ m/s.}$$

৬. অক্সিজেন গ্যাসে শব্দতরঙ্গের বেগ 300 m/s হলে, হাইড্রোজেন গ্যাসে বেগ কত হবে ?

উঃ। গ্যাসে শব্দের বেগ $V = \sqrt{\frac{\gamma P}{\rho}}$; একই তাপমাত্রা এবং চাপে অক্সিজেনের ঘনত্ব হাইড্রোজেনের

16 গুণ। তাছাড়া, দুই গ্যাসের বেলায় γ -র মান সমান। অতএব,

$$\frac{V_{H_2}}{V_{O_2}} = \sqrt{\frac{\rho(O_2)}{\rho(H_2)}} \therefore V_{H_2} = \sqrt{16} \cdot V_{O_2} = 4 \cdot V_{O_2} = 4 \times 300 = 1200 \text{ m/s.}$$

৭. 0°C উষ্ণতায় হাইড্রোজেন গ্যাস মাধ্যমে শব্দের বেগ 1200 m/s. হাইড্রোজেনের সাথে কিছু পরিমাণ অক্সিজেন গ্যাস মিশ্রিত করলে শব্দের বেগ কমে 500 m/s হয়। মিশ্রণে হাইড্রোজেন ও অক্সিজেন গ্যাসের আয়তনগত অনুপাত কত, তা খির করো। দেওয়া আছে অক্সিজেনের ঘনত্ব হাইড্রোজেনের ঘনত্বের 16 গুণ। [Jt. Entrance 1982]

উঃ। ধরো, হাইড্রোজেনের ঘনত্ব $= \rho_h$; যদি V_1 আয়তনের হাইড্রোজেন এবং V_2 আয়তনের অক্সিজেন নিয়ে মিশ্রণ তৈরি করা হয় তবে ঐ মিশ্রণের ভর $= \rho_h \cdot V_1 + 16\rho_h \cdot V_2$ এবং আয়তন $= V_1 + V_2$

$$\text{সুতরাং মিশ্রণের ঘনত্ব } \rho_m = \frac{\rho_h V_1 + 16\rho_h \cdot V_2}{V_1 + V_2} = \frac{\rho_h (V_1 + 16V_2)}{V_1 + V_2}$$

$$\text{এখন হাইড্রোজেন গ্যাসে শব্দের গতিবেগ } V_h = \sqrt{\frac{\gamma P}{\rho_h}}$$

$$\text{এবং মিশ্রণে গতিবেগ } V_m = \sqrt{\frac{\gamma P}{\rho_m}} = \sqrt{\frac{\gamma P (V_1 + V_2)}{\rho_h (V_1 + 16V_2)}}$$

$$\therefore \frac{V_m}{V_h} = \sqrt{\frac{\gamma P (V_1 + V_2)}{\rho_h (V_1 + 16V_2)}} \times \frac{\rho_h}{\gamma P} = \sqrt{\frac{V_1 + V_2}{V_1 + 16V_2}}$$

$$\text{প্রমানুযায়ী, } \frac{500}{1200} = \sqrt{\frac{V_1 + V_2}{V_1 + 16V_2}} ; \text{ বর্গ নিলে, } \frac{25}{144} = \frac{V_1 + V_2}{V_1 + 16V_2}$$

$$\text{অথবা, } 25V_1 + 400V_2 = 144V_1 + 144V_2$$

$$\text{অথবা, } 256V_2 = 119V_1 \therefore \frac{V_1}{V_2} = \frac{256}{119}.$$

৮. 7°C উষ্ণতায় অক্সিজেনের ভিতর দিয়ে শব্দের যে গতিবেগ, কার্বন ডাইঅক্সাইড গ্যাসে ঐ গতিবেগ থেকে গেলে কার্বন ডাইঅক্সাইডের উষ্ণতা কত হবে? গ্যাস দুটির আণবিক ভর যথাক্রমে 32 এবং 44; CO_2 এবং O_2 -এর বেলায় γ -এর মান যথাক্রমে 1.33 এবং 1.4.

উঃ। শব্দের গতিবেগ, $V = \sqrt{\frac{\gamma R_0 T}{M}}$; কার্বন ডাইঅক্সাইডের বেলায়, $V_{CO_2} = \sqrt{\frac{1.33 R_0 T}{44}}$;

আবার অক্সিজেনের বেলায়, $V_{O_2} = \sqrt{\frac{1.4 \times R_0 (273 + 7)}{32}} = \sqrt{\frac{1.4 \times R_0 \times 280}{32}}$

যেহেতু, $V_{CO_2} = V_{O_2}$ কাজেই, $\frac{1.33T}{44} = \frac{1.4 \times 280}{32}$; অথবা, $T = \frac{1.4}{1.33} \times \frac{44}{32} \times 280 = 405$ K

(প্রায়)

সেলসিয়াস স্কেলে নির্ণেয় তাপমাত্রা $= 405 - 273 = 132^\circ\text{C}$.

৯. দুটি ভিন্ন গ্যাসের γ -র অনুপাত 14 : 15; একই চাপে তাদের ঘনত্বের অনুপাত 7 : 3; প্রথম গ্যাসে শব্দের বেগ 320 m/s হলে দ্বিতীয় গ্যাসে শব্দের বেগ কত?

উঃ। প্রথম গ্যাসে শব্দের বেগ V_1 হলে, $V_1 = \sqrt{\frac{\gamma_1 P}{\rho_1}}$

অনুরূপভাবে, দ্বিতীয় গ্যাসে শব্দের বেগ V_2 হলে, $V_2 = \sqrt{\frac{\gamma_2 P}{\rho_2}}$

ভাগ দিলে, $\frac{V_2}{V_1} = \sqrt{\frac{\gamma_2}{\gamma_1} \times \frac{\rho_1}{\rho_2}} = \sqrt{\frac{15}{14} \times \frac{7}{3}} = \sqrt{\frac{5}{2}}$

$\therefore V_2 = V_1 \times \sqrt{\frac{5}{2}} = 320 \times \sqrt{2.5} = 506 \text{ m/s}$ (প্রায়)।

10. হিলিয়াম গ্যাসে -173°C উন্মতায় শব্দের বেগ 582 m/s. হিলিয়ামের আণবিক ভর 4; ঐ গ্যাসের γ ধ্রুবকের মান কত? $R = 8.31 \times 10^7 \text{ erg}^\circ\text{C}$. [Jt. Entrance 1988]

উঃ। গ্যাসে শব্দের গতিবেগ $V = \sqrt{\frac{\gamma \times R \times T}{M}}$

এখানে, $V = 582 \text{ m/s}$; $R = 8.31 \times 10^7 \text{ erg}^\circ\text{C} = 8.31 \text{ joule}^\circ\text{C}$; $T = 273 - 173 = 100 \text{ K}$ এবং $M = 4 \text{ g} = 4 \times 10^{-3} \text{ kg}$ (সব S.I. এককে প্রকাশ করা হল)।

অতএব, $582 = \sqrt{\frac{\gamma \times 8.31 \times 100}{4 \times 10^{-3}}} = 5(\gamma \times 8.31 \times 10^3)^{1/2}$

$\therefore \left(\frac{582}{5}\right)^2 = \gamma \times 8.31 \times 10^3$ অথবা, $\gamma = \frac{(116.4)^2}{8.31 \times 10^3} = 1.63$.

11. 300 m উঁচু একটি মিনারের শীর্ষ থেকে একটি পাথরখণ্ড ফেলা হল। মিনারের পাদদেশে একটি জলাশয়ের জলে ঐ পাথরখণ্ড পড়ার শব্দ মিনারের শীর্ষে পৌঁছোতে কত সময় লাগবে? বায়ুতে শব্দের বেগ $= 340 \text{ ms}^{-1}$ এবং $g = 9.8 \text{ ms}^{-2}$.

উঃ। জলে পড়ার শব্দ মিনারের শীর্ষে পৌঁছোতে যে মোট সময় লাগবে তা পাথরখণ্ডের মিনারে

শীর্ষ থেকে পাদদেশে পৌঁছাতে সময় t_1 এবং শব্দের মিনারের পাদদেশ থেকে শীর্ষে পৌঁছাতে সময় t_2 —এই দুয়ের সমষ্টি।

$$\text{এখন, } S = \frac{1}{2}gt^2 \text{ সমীকরণ থেকে পাই, } S = \frac{1}{2}gt_1^2 \text{ অথবা, } t_1 = \sqrt{\frac{2S}{g}} = \sqrt{\frac{2 \times 300}{9.8}} = 7.82 \text{ s}$$

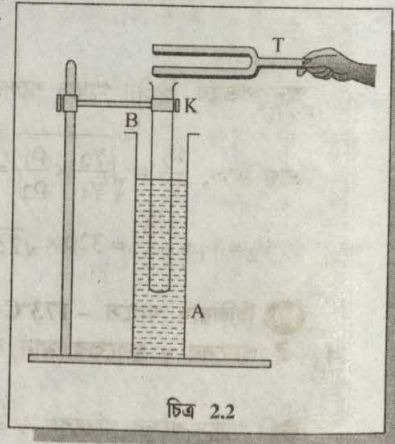
$$\text{আবার, } t_2 = \frac{\text{মিনারের উচ্চতা}}{\text{শব্দের গতিবেগ}} = \frac{300}{340} = 0.88 \text{ s}$$

$$\therefore \text{মোট নির্ণেয় সময়} = t_1 + t_2 = 7.82 + 0.88 = 8.7 \text{ s.}$$

অনুনাদী বায়ুস্তম্ভ দ্বারা বায়ুতে শব্দের বেগ নির্ণয়

2.7. (Determination of velocity of sound in air by resonant air column) :

পরীক্ষা : একটি মোটা ও লম্বা কাচের পাত্র A দুই তৃতীয়াংশ জল ভর্তি করে জলের ভিতর একটি দুমুখ খোলা কাচনল B প্রবেশ করাও (2.2 নং চিত্র)। K চাবি খুলে B নলকে ওপর-নীচে সরানো যায়। জল দ্বারা B নলের নীচের মুখ বন্ধ হয়ে যাবে। সুতরাং একে বন্ধ নল হিসাবে ব্যবহার করা যাবে। এর সুবিধা এই যে, B নলকে উপরে উঠিয়ে বা নীচে নামিয়ে নলের ভিতরকার বায়ুস্তম্ভের দৈর্ঘ্য ইচ্ছামত কম-বেশি করা যেতে পারে। এইবার একটি কম্পমান সুরশলাকা T-কে B-নলের খোলা মুখের সামনে ধরে নলের বায়ুস্তম্ভের দৈর্ঘ্য বাড়ালে-কমালে এক সময়ে জোর শব্দ শোনা যাবে। এর অর্থ এই যে, বায়ুস্তম্ভে অনুনাদ সৃষ্টি হয়েছে। এই অবস্থায় সুরশলাকার কম্পাঙ্ক ও বায়ুস্তম্ভের কম্পাঙ্ক সমান হবে। যদি বায়ুস্তম্ভের ন্যূনতম দৈর্ঘ্যে এই অনুনাদ হয়ে থাকে তবে বুঝতে হবে, বায়ুস্তম্ভ মূলসুর সৃষ্টি করেছে। শব্দের বেগ V , অনুনাদী বায়ুস্তম্ভের দৈর্ঘ্য l ও কম্পাঙ্ক n হলে মূলসুরের বেলায় প্রমাণ করা যায়, $V = 4ln$ । (তৃতীয় পরিচ্ছেদে বায়ুস্তম্ভের কম্পন দ্রষ্টব্য)।*



চিত্র 2.2

সুতরাং, সুরশলাকার কম্পাঙ্ক জানা থাকলে ও অনুনাদী বায়ুস্তম্ভের দৈর্ঘ্য মাপলে শব্দের বেগ নির্ণয় করা যাবে।

● **প্রান্তিক ত্রুটি সংশোধন (End correction) :** B-নলে অনুনাদ সৃষ্টি হলে আমরা ধরেছি যে, নলের ভিতরস্থ জলতলে একটি নিম্পন্দ বিন্দু ও ঠিক খোলা মুখে একটি সুস্পন্দ বিন্দু উৎপন্ন হয় (3.14 অনুচ্ছেদ দ্রষ্টব্য)। কিন্তু বিজ্ঞানী লর্ড র্যালো প্রমাণ করেছেন যে, সুস্পন্দ বিন্দু ঠিক খোলা মুখে হয় না, একটু উপরে হয়। ধর, নলের মুখ থেকে সুস্পন্দ বিন্দুর দূরত্ব x ; এক্ষেত্রে x -কে বলা হয় প্রান্তিক ত্রুটি। নলের ব্যাসার্ধ r হলে, $x = 0.6r$; অতএব $V = 4(l+x)n = 4(l+0.6r)n$ ।

এই প্রান্তিক ত্রুটি পরিহার করে নির্ভুলভাবে শব্দের বেগ নির্ণয় করার আর একটি উপায় আছে। বায়ুস্তম্ভের ন্যূনতম দৈর্ঘ্য মূলসুর অনুনাদ সৃষ্টি করে তা আমরা দেখছি। এখন বায়ুস্তম্ভের দৈর্ঘ্য বাড়িয়ে প্রায় তিনগুণ

* এই অনুচ্ছেদ 3.14 অনুচ্ছেদ (বায়ুস্তম্ভের কম্পন) অধ্যয়নের পর পড়া বাঞ্ছনীয়।

করলে দ্বিতীয়বার অনুনাদ সৃষ্টি হবে। এ থেকে বোঝা যায়, নলে প্রথম উপসুর বা তৃতীয় সম্মেল উপপন্ন হয়েছে।

ধরা যাক, সুরশলাকা নিঃসৃত শব্দের তরঙ্গদৈর্ঘ্য λ :

প্রথম অনুনাদের সময় বায়ুস্তম্ভের দৈর্ঘ্য l_1 হলে, $\frac{\lambda}{4} =$

$l_1 + x$ (চিত্র 2.3)। দ্বিতীয় অনুনাদের সময় বায়ুস্তম্ভের দৈর্ঘ্য

l_2 হলে, $\frac{3\lambda}{4} = l_2 + x$ (2.4 নং চিত্র)।

দ্বিতীয় সমীকরণ থেকে প্রথমটি বিয়োগ করলে

$\frac{\lambda}{2} = l_2 - l_1$ । অথবা, $\lambda = 2(l_2 - l_1)$, সুতরাং $V = n\lambda =$

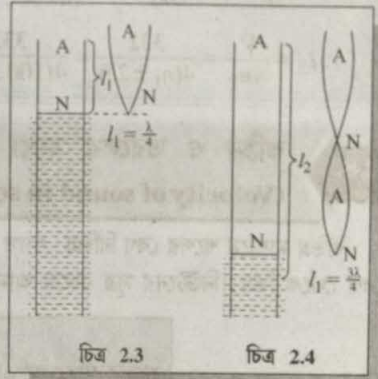
$2n(l_2 - l_1)$; এই সমীকরণে প্রান্তিক ত্রুটি (x) নেই।

● প্রান্তিক ত্রুটি নির্ণয় : প্রথম অনুনাদের ক্ষেত্রে আমরা

দেখলাম, $\frac{\lambda}{4} = l_1 + x$; আবার, দ্বিতীয় অনুনাদের ক্ষেত্রে $\frac{3\lambda}{4} = l_2 + x$ [চিত্র 2.3 এবং 2.4]।

$\therefore 4(l_1 + x) = \frac{4}{3}(l_2 + x)$ অথবা, $x = \frac{l_2 - 3l_1}{2}$ । l_1 এবং l_2 জানা থাকলে প্রান্তিক ত্রুটি x নির্ণয়

করা যায়।



চিত্র 2.3

চিত্র 2.4

□ EXAMPLES □

1. 512 কম্পাঙ্কের একটি সুরশলাকাকে বন্ধ নলের মুখে ধরে দেখা গেল যে বায়ুস্তম্ভের ন্যূনতম দৈর্ঘ্য 17 cm হলে অনুনাদ সৃষ্টি হয়। বায়ুতে শব্দের গতিবেগ নির্ণয় করো।

উঃ। এস্থলে $l = 17 \text{ cm}$; $n = 512$; ন্যূনতম দৈর্ঘ্যে অনুনাদ হওয়ায় মূলসুর উৎপন্ন হয়েছে। সুতরাং, $V = 4nl = 4 \times 512 \times 17 \text{ cm/s} = 34816 \text{ cm/s} = 348.16 \text{ m/s}$ ।

2. একটি কম্পনশীল সুরশলাকাকে কোনো বন্ধ নলের মুখে ধরে বায়ুস্তম্ভের 27 cm এবং 82 cm দৈর্ঘ্যে অনুনাদ পাওয়া গেল। সুরশলাকার কম্পাঙ্ক 300 হলে বায়ুতে শব্দের বেগ নির্ণয় করো।

উঃ। এস্থলে $l_1 = 27 \text{ cm}$; $l_2 = 82 \text{ cm}$ এবং $n = 300$

এখন, $V = 2n(l_2 - l_1) = 2 \times 300(82 - 27) = 2 \times 300 \times 55 \text{ cm/s}$

$= 2 \times 3 \times 55 \text{ m/s} = 330 \text{ m/s}$ ।

3. দুটি অর্গান নল—একটির দুমুখ এবং অপরটির একমুখ খোলা—মূলসুর উৎপন্ন করলে তাদের কম্পাঙ্কের পার্থক্য 25 দেখা গেল। খোলা নলের দৈর্ঘ্য 166 cm; বায়ুতে শব্দের গতিবেগ 332 m/s হলে বন্ধ নলের দৈর্ঘ্য কত?

উঃ। মনে করো, খোলা নলে বায়ুস্তম্ভের কম্পাঙ্ক ও দৈর্ঘ্য যথাক্রমে n_1 এবং l_1 ; বন্ধ নলের বেলাতে ধরো, তারা যথাক্রমে n_2 এবং l_2 । প্রশ্নানুযায়ী, $n_1 - n_2$ অথবা, $n_2 - n_1 = 25$ ।

এখন খোলা নলের মূলসুরের বেলাতে (3.15 অনুচ্ছেদ দ্রষ্টব্য),

$$n_1 = \frac{V}{2l_1} = \frac{332}{2 \times 1.66} = 100 \text{ এবং বন্দ নলের বেলাতে } n_2 = \frac{V}{4l_2}$$

$$\therefore l_2 = \frac{V}{4n_2} = \frac{332}{4(n_1 + 25)} = \frac{332}{4(100 + 25)} = 0.664 \text{ m অথবা } 1.1 \text{ m.}$$

2.8.

কঠিন ও তরলের মধ্যে শব্দের বেগ

(Velocity of sound in solid and liquid) :

বিভিন্ন মাধ্যমে শব্দের বেগ বিভিন্ন। গ্যাস বা বায়ুতে শব্দের যে বেগ তা কঠিন ও তরলের মধ্যে শব্দের বেগ থেকে ভিন্ন। নিউটনের সূত্র থেকে আমরা জানি,

$$\text{শব্দের গতিবেগ} = \sqrt{\frac{\text{মাধ্যমের স্থিতিস্থাপক গুণাঙ্ক}}{\text{এই মাধ্যমের ঘনত্ব}}}$$

এখন, বায়ু অপেক্ষা কঠিন পদার্থের ঘনত্ব বেশি কিন্তু কঠিন পদার্থের স্থিতিস্থাপক গুণাঙ্ক বায়ুর স্থিতিস্থাপক গুণাঙ্ক অপেক্ষা অনেক গুণ বেশি। ফলে কঠিন পদার্থের মধ্যে শব্দের বেগ বায়ু মাধ্যমে শব্দের বেগ অপেক্ষা অনেক বেশি হয়। 1801 খ্রিস্টাব্দে বিও সর্বপ্রথম লোহার ভিতর শব্দের বেগ নির্ণয় করেন। কতকগুলি ছোটো ছোটো ফাঁপা লোহার পাইপ জোড়া দিয়ে তিনি প্রায় 1000 মিটার দীর্ঘ নল তৈরি করেন। নলের একমুখে একটি শব্দ করে অপর মুখে কান রেখে তিনি দুবার শব্দ শুনতে পেলেন। শব্দ লোহার ভিতর দিয়ে এবং ফাঁপা নলের ভিতরস্থ বায়ুমধ্য দিয়ে চালিত হয়ে অপর প্রান্তে পৌঁছে এরূপ দুবার শব্দ সৃষ্টি করে। বিও পরীক্ষা করে দেখলেন, লোহার ভিতর দিয়ে শব্দ চালিত হয়ে অপর প্রান্তে পৌঁছাতে যে সময় লাগল তা বায়ুমধ্য দিয়ে শব্দ আসার সময়ের প্রায় $\frac{1}{16}$ ভাগ; অর্থাৎ, লোহার ভিতর শব্দের বেগ বায়ুমধ্যে শব্দের বেগের প্রায় 16 গুণ।

1827 খ্রিস্টাব্দে Colladon ও Strum সর্বপ্রথম জলে শব্দের বেগ নির্ণয় করেন। তাঁরা জেনেভার হ্রদে প্রায় 14 km দূরত্বে দুখানি জাহাজ থেকে এই পরীক্ষা করেন। একটি জাহাজ থেকে জলের মধ্যে একটি ঘণ্টা নিমজ্জিত করা হল। ঘণ্টা বাজাবার সঙ্গে সঙ্গে বায়ুতে বাবুদের বিক্ষোভণ করে দ্বিতীয় জাহাজে তা তৎক্ষণাৎ জানাবার ব্যবস্থা করা হল। দ্বিতীয় জাহাজ থেকে একটি ear-trumpet (জলের মধ্যে শব্দ হলে এই যন্ত্রে তা ধরা পড়ে) জলের ভিতর ডুবিয়ে ঘণ্টার শব্দ গ্রহণ করার ব্যবস্থা ছিল। দ্বিতীয় জাহাজের পর্যবেক্ষক বিক্ষোভণের সময় এবং জলের ভিতর দিয়ে বাহিত হয়ে শব্দ ear-trumpet-এ পৌঁছাবার সময় নোট করল। এই দুই সময়ের অন্তরফল (difference) হবে জাহাজ দুটির ভিতরকার দূরত্ব জলের ভিতর দিয়ে অতিক্রম করতে শব্দের যে-সময় লাগল তার সমান। অতঃপর এই দূরত্বকে সময় দিয়ে ভাগ করে জলে শব্দের বেগ নির্ণয় করা হল। এই পরীক্ষা দ্বারা তাঁরা দেখলেন, 8.1°C তাপমাত্রায় জলে শব্দের বেগ প্রতি সেকেন্ডে প্রায় 1435 মিটার। এই গতিবেগ বায়ুমধ্যে শব্দের গতিবেগ অপেক্ষা চারগুণেরও বেশি।

● (ক) কঠিনের ভিতর শব্দের বেগ : কোনো মাধ্যমে শব্দের বেগের সাধারণ সমীকরণ

$V = \sqrt{E/\rho}$; কঠিনের বেলায় E -এর পরিবর্তে কঠিনের ইয়ং গুণাঙ্ক Y ব্যবহার করতে হবে। অতএব

কঠিন মাধ্যমে শব্দের গতিবেগ $V = \sqrt{\frac{Y}{\rho}}$; ρ = কঠিন মাধ্যমের ঘনত্ব।

লৌহের বেলায়, $Y = 2.1 \times 10^{11} \text{ Nm}^{-2}$ এবং $\rho = 7800 \text{ kg/m}^{-3}$

∴ লৌহের ভিতর শব্দের গতিবেগ $V = \sqrt{\frac{2.1 \times 10^{11}}{7800}} = 5189 \text{ m/s}$. পূর্বেই উল্লেখ করা হয়েছে যে এই

গতিবেগ বায়ুমধ্যে শব্দের গতিবেগের প্রায় 16 গুণ।

(খ) তরলের ভিতর শব্দের গতিবেগ : তরলের বেলায় নিউটনের সাধারণ সমীকরণে E -এর পরিবর্তে তরলের আয়তন বিকৃতি গুণাঙ্ক k ব্যবহার করতে হবে। অতএব তরলের বেলায় শব্দের গতিবেগ

$$V = \sqrt{\frac{k}{\rho}}; \rho = \text{তরলের ঘনত্ব।}$$

জলের ক্ষেত্রে $k = 2.23 \times 10^3 \text{ Nm}^{-2}$ এবং $\rho = 10^3 \text{ kg m}^{-3}$

$$\therefore \text{জলের ভিতর শব্দের গতিবেগ } V = \sqrt{\frac{2.23 \times 10^9}{1000}} = 1493 \text{ ms}^{-1}.$$

জলের ভিতর শব্দের গতিবেগ বায়ুমধ্যে শব্দের গতিবেগের প্রায় চারগুণ।

● লক্ষ করার বিষয় যে জলের গভীরতা যত বৃদ্ধি পায় জলের আয়তন বিকৃতি গুণাঙ্ক ও ঘনত্ব উভয়ই বৃদ্ধি পায়। কিন্তু আয়তন বিকৃতি গুণাঙ্ক বৃদ্ধি ঘনত্ব বৃদ্ধির তুলনায় অনেক বেশি বলে জলের গভীরতা বৃদ্ধির সঙ্গে শব্দের গতিবেগও বৃদ্ধি পায়।

□ EXAMPLES □

1. একটি জাহাজ থেকে আর একটি জাহাজে শব্দ সংকেত পাঠানো হল। শব্দ সংকেত সমুদ্রজলের ভিতর দিয়ে এবং বায়ুমধ্য দিয়ে—এই দুই পথ দিয়ে অগ্রসর হল। অপর জাহাজে 5 সেকেন্ড সময় ব্যবধানে সংকেত দুটি ধরা পড়ল। জাহাজ দুটির ভিতর দূরত্ব নির্ণয় করো। বায়ুমধ্যে ও সমুদ্রজলে শব্দের গতিবেগ যথাক্রমে 340 m/s এবং 1435 m/s .

উঃ ধর, জাহাজ দুটির ভিতরকার দূরত্ব $= x \text{ metre}$. এখানে বায়ুমধ্যে $x \text{ metre}$ যেতে শব্দের যদি t_1 সেকেন্ড সময় লাগে তবে $t_1 = \frac{x}{340}$ সেকেন্ড। আবার সমুদ্রজলে $x \text{ metre}$ যেতে শব্দের যদি t_2

সেকেন্ড সময় লাগে, তবে $t_2 = \frac{x}{1435}$ সেকেন্ড।

কিন্তু প্রদানুযায়ী, $t_1 - t_2 = 5$ সেকেন্ড। $\therefore \frac{x}{340} - \frac{x}{1435} = 5$ অথবা, $\frac{x(1435 - 340)}{340 \times 1435} = 5$

বা, $x = \frac{5 \times 340 \times 1435}{1095} \text{ m} = 2227.8 \text{ m} = 2.23 \text{ km}$ (প্রায়)।

2. কোনো ধাতুর মধ্যে শব্দের বেগ V ; l দৈর্ঘ্যের ঐ ধাতুর একটি দণ্ডের একপ্রান্তে আঘাত করে শব্দ সৃষ্টি করা হল। দণ্ডের অন্য প্রান্তে কান রেখে জনৈক শ্রোতা দুটি শব্দ শুনতে পেল। এর কারণ কী? বায়ুতে শব্দের গতিবেগ u হলে, দুই শব্দের অন্তর্বর্তী সময় কত? ধর, অন্তর্বর্তী সময় $t = 1.4$ সেকেন্ড। $V = 5130 \text{ m/s}$ এবং $u = 330 \text{ m/s}$ হলে l -এর মান নির্ণয় করো।

উঃ দণ্ডের একপ্রান্তে আঘাত করলে, শব্দ ধাতব পদার্থের ভিতর দিয়ে এবং বায়ুর ভিতর দিয়ে অগ্রসর হয়ে অন্য প্রান্তে পৌঁছাবে। ধাতবপদার্থ এবং বায়ুতে শব্দের গতিবেগ ভিন্ন বলে দণ্ডের দৈর্ঘ্য অতিক্রম করতে শব্দ ধাতবপদার্থে এবং বায়ুতে ভিন্ন সময় নেবে। এই কারণে দণ্ডের অন্য প্রান্তে কান রাখলে দুবার শব্দ শোনা যাবে।

ধাতুর ভিতর দিয়ে শব্দ যদি l দৈর্ঘ্য অতিক্রম করতে t_1 সময় নেয়, তবে $t_1 = \frac{l}{V}$ । আবার, বায়ুর

ভিতর ঐ দূরত্ব অতিক্রম করতে যদি t_2 সময় নেয়, তবে $t_2 = \frac{l}{v}$ । যেহেতু $V > v$ সেহেতু $t_2 > t_1$ ।

অতএব অন্তর্বর্তী সময় $t = t_2 - t_1 = \frac{l}{v} - \frac{l}{V} = \frac{l(V - v)}{V \cdot v}$ সেকেন্ড।

এখন, $t = 1.4 \text{ s}$; $V = 5130 \text{ m/s}$ এবং $v = 330 \text{ m/s}$ হলে, $1.4 = \frac{l(5130 - 330)}{5130 \times 330} = \frac{l \times 4800}{5130 \times 330}$

$$\therefore l = \frac{1.4 \times 5130 \times 330}{4800} = 493.8 \text{ metre (প্রায়)}।$$

এই পরিচ্ছেদের বিষয়বস্তু সম্পর্কে কয়েকটি প্রশ্ন (Some typical problems of this chapter)

- হিলিয়াম এবং অক্সিজেন গ্যাসের ক্ষেত্রে P/ρ অনুপাত অপরিবর্তিত রাখলেও দেখা যায় যে তাদের ভিতর শব্দের বেগ সমান হয় না। কারণ কী?
- গ্যাসে শব্দের বেগের যে-মান ল্যাপল্যাস নির্দেশ করেছেন তা নিম্নরূপ: $V = \sqrt{\frac{\gamma \cdot P}{\rho}}$; γ = স্থির চাপে এবং স্থির আয়তনে গ্যাসের আপেক্ষিক তাপের অনুপাত। এখন, গ্যাসের অণুতে পরমাণুর সংখ্যার উপর γ -এর মান নির্ভর করে। হিলিয়াম গ্যাসের অণুতে একটি মাত্র পরমাণু আছে এবং হিলিয়ামের $\gamma_1 = 1.66$ । আবার অক্সিজেন গ্যাসের অণুতে দুটি পরমাণু আছে এবং অক্সিজেনের $\gamma_2 = 1.44$ । সুতরাং P/ρ অনুপাত সমান হলেও অক্সিজেন ও হিলিয়াম গ্যাসে শব্দের গতিবেগের অনুপাত $= \sqrt{\frac{\gamma_2}{\gamma_1}} = \sqrt{\frac{1.44}{1.66}} = 0.93$; অতএব, দুই গ্যাসে শব্দের গতিবেগ সমান হতে পারে না কারণ অনুপাত 1 -এর সমান নয়।
- শীতের দিনে বায়ুতে শব্দের গতিবেগ বর্ষার দিনের গতিবেগ অপেক্ষা কম হয়। কারণ কী?
- শব্দের গতিবেগ বায়ুর উষ্ণতা এবং আর্দ্রতার উপর নির্ভর করে। উষ্ণতা ও আর্দ্রতা বাড়লে, বায়ুতে শব্দের বেগ বাড়ে; আবার তাপমাত্রা ও আর্দ্রতা কমলে, বায়ুতে শব্দের বেগ কমে যায়। এখন, বর্ষাকালে বায়ুর উষ্ণতা সাধারণত শীতের দিনের উষ্ণতা অপেক্ষা বেশি থাকে; আবার বর্ষাকালে বৃষ্টি পড়ার জন্য বায়ুতে জলীয় বাষ্পের পরিমাণও শীতের শুষ্ক দিন অপেক্ষা বেশি থাকে। এই দুই কারণে শীতের দিনে বায়ুতে শব্দের গতিবেগ বর্ষার দিনের গতিবেগ অপেক্ষা কম থাকে।
- সুরশলাকার বাহু ধীরে ধীরে আন্দোলিত হলে কোনো তরঙ্গের উদ্ভব হয় না; দ্রুত আন্দোলিত হলে তরঙ্গের উদ্ভব হয়। এই পার্থক্যের কারণ কী?
- সুরশলাকার বাহু ধীরে ধীরে দক্ষিণে ও বামে আন্দোলিত হলে কোনো তরঙ্গের উদ্ভব হয় না; বায়ু কেবলমাত্র সুরশলাকার বাহুর চতুর্দিকে ধীরে ধীরে প্রবাহিত হয়। তরঙ্গের উদ্ভব করতে হলে, বায়ুতরঙ্গ ঘনীভবন ও তনুভবন সৃষ্টি করতে হবে এবং সেজন্য সুরশলাকার বাহুর দ্রুত কম্পন প্রয়োজন। ব্যাপারটা অনেকটা বাবুদের বিস্ফোরণের মতো। খোলা জায়গায় বাবুদ ধীরে ধীরে দগ্ধ হলে, গ্যাস চতুর্দিকে আস্তে আস্তে বিস্তৃত হয়ে পড়ে; কোনো বিস্ফোরণ হয় না। কিন্তু মুহূর্তের মধ্যে বাবুদ দগ্ধ হলে, উৎপন্ন গ্যাস চতুর্দিকে ছড়িয়ে পড়ার সময় পায় না। চতুর্দিকস্থ বায়ুতরঙ্গকে সহসা সজ্জুচিত করে। ফলে,

বায়ুর ভিতর দিয়ে একটি সংনমন তরঙ্গ (compression wave) চলে যায় এবং প্রবল শব্দ সৃষ্টি করে।

* প্রশ্নাবলি *

→ রচনামূলক প্রশ্ন

1. শব্দতরঙ্গকে স্থিতিস্থাপক তরঙ্গ বলে মনে করবার কারণ কী? মাধ্যমের ভিতর দিয়ে শব্দতরঙ্গ সঞ্চালন পদ্ধতি আলোচনা করো।
2. গ্যাস মাধ্যমে শব্দের গতিবেগ গ্যাসের চাপ ও তাপমাত্রার দ্বারা কীরূপে প্রভাবিত হয়?
3. অনুনাদী বায়ুস্তম্ভ কাকে বলে? তার সাহায্যে শব্দের গতিবেগ কীরূপে নির্ণয় করবে? প্রান্তিক ত্রুটি কাকে বলে? সেটা কীরূপে পরিহার করা যায়?
4. খোলামুখ একটি জারের (100 cm দীর্ঘ) মুখে একটি কম্পমান সরুশলাকা (ধরো, 256 কম্পাঙ্কযুক্ত) ধরে জারে আস্তে আস্তে জল ঢালা হতে লাগল। কী ঘটবে বর্ণনা করো। এই ব্যবস্থার দ্বারা কি শব্দের বেগ নির্ণয় করা যায়?

→ সংক্ষিপ্ত উত্তরের প্রশ্ন

1. প্রমাণ চাপ ও তাপমাত্রায় কঠিন মাধ্যমে শব্দের গতিবেগ সাধারণভাবে গ্যাস মাধ্যমে গতিবেগ অপেক্ষা বেশি। কারণ কী? [Jt. Entrance 1987, '91]
2. গ্যাস মাধ্যমে শব্দের গতিবেগ সংক্রান্ত নিউটনের সূত্র উল্লেখ করো। কী হিসাবে এই সূত্র ত্রুটিপূর্ণ? ল্যাপ্লাস তার কি সংশোধন করেছিলেন?
3. একটি ক্রীড়া প্রতিযোগিতায় 200 m দৌড়ের সময় রাখা হচ্ছে। দৌড় শুরু করা হল আরম্ভের জায়গায় বন্দুক ছুড়ে এবং সময় নোট করা হল দৌড় শেষ হবার জায়গায় স্টপওয়াচ চালিয়ে। এভাবে সময় নোট করলে গ্রীয়ে ও শীতে কি সেটা নির্ভুল হবে?

[সংকেত : গ্রীষ্মকালে সময় নোট করা মোটামুটি নির্ভুল হবে। শব্দের গতিবেগ পরম তাপমাত্রার বর্গমূলের সমানুপাতিক হওয়ায় গ্রীষ্মকালে শব্দের বেগ বেশি হবে। ফলে, গ্রীষ্মকালে দৌড় আরম্ভ হবার স্থান থেকে শেষ হবার স্থানে আসতে শব্দের কম সময় লাগবে।]

4. বায়ুমাধ্যমে কোন শব্দের তীব্রতা অপেক্ষা কার্বন ডাই-অক্সাইডের ভিতর তীব্রতা বেশি হয় কেন?

[সংকেত : কোনো মাধ্যমে শব্দের তীব্রতা মাধ্যমের ঘনত্ব বাড়লে বেড়ে যায়।]

5. বায়ুতে শব্দ উৎপন্ন করলে ঐ শব্দ জলের ভিতর ডুবে থাকা ব্যক্তি শুনতে পায় না কেন?
6. চন্দ্রে দুই ব্যক্তি কথা বললে, তারা পরস্পরের কথা শুনতে পায় না। কেন?

→ অতিসংক্ষিপ্ত উত্তরের প্রশ্ন

1. বজ্রবিদ্যুতের সময় বিদ্যুতের ঝলকানি দেখার বেশ কিছুক্ষণ পরে মেঘের শব্দ শোনা যায় কেন?
2. অনুনাদী বায়ুস্তম্ভ দ্বারা শব্দের গতিবেগ নির্ণয় পরীক্ষায় যদি নলের ভিতর জলের পরিবর্তে জল অপেক্ষা বেশি ঘনত্বের কোনো তরল রাখা যায়, তবে কম্পাঙ্কের কি পরিবর্তন হবে?
3. একটি দীর্ঘ ফাঁপা নলের একপ্রান্তে হাতুড়ির দ্বারা আঘাত করলে অপর প্রান্তে দুটি শব্দ শোনা যায়। সেটা কীরূপে সম্ভব?
4. দূর থেকে ট্রেনের শব্দ সাধারণভাবে শোনা না গেলেও রেল লাইনে কান পাতলে শোনা যায়। এরূপ হবার কারণ কী?
5. একই উষ্ণতায় শুষ্ক বায়ুর তুলনায় আর্দ্র বায়ুতে শব্দের বেগ অধিক হয় কেন? [Jt. Entrance 1994]
6. কোনো অঞ্চলে দিনে ও রাতে শব্দের বেগ সমান থাকে না কেন?
7. নিম্নলিখিত উক্তিগুলি কারণসহ ব্যাখ্যা করো :
(i) যত বেশি উচ্চতা আরোহণ করা যায় শব্দের বেগ তত হ্রাস পায়। (ii) একটি গভীর জলাশয়ের উপরতলে শব্দের বেগ জলাশয়ের তলায় বেগের অনেক কম। (iii) চন্দ্রপৃষ্ঠে মহাকাশযাত্রীদের নিজেদের মধ্যে বোতারের সাহায্যে কেন কথা বলতে হয়। [Jt. Entrance 1998]

8. 1°C উষ্ণতা বৃদ্ধিতে শব্দের বেগ কতটা বৃদ্ধি পায়?

বহুমুখী পছন্দের প্রশ্ন [Multiple Choice Type (MCQ)]

(A) নির্ভুল উত্তরটি ✓ চিহ্নিত করো :

- [i] শব্দের বেগ সম্পর্কিত নিউটনের সূত্রের ল্যাপলাস শূন্যের প্রয়োজন ছিল কারণ শব্দ তরঙ্গ
(A) অনুদৈর্ঘ্য (B) সমাঙ্গ অবস্থায় বিস্তার লাভ করে
(C) বৃদ্ধতাপ অবস্থায় বিস্তার লাভ করে (D) দৈর্ঘ্য অনেক বড়।
- [ii] চাপ অপরিবর্তিত রেখে উষ্ণতা 2K বাড়ানো হল। এতে শব্দের বেগের কি পরিবর্তন হবে ?
(A) কোন পরিবর্তন হবে না (B) 2×0.61 m/s হ্রাস পাবে
(C) 2×0.61 m/s বৃদ্ধি পাবে (D) আরও কিছু তথ্য প্রয়োজন।
- [iii] $\sqrt{\frac{\gamma P}{\rho}}$ এই ফর্মুলার মাত্রা হবে
(A) চাপের মাত্রার সমান (B) গতিবেগের মাত্রার সমান
(C) ভরপের মাত্রার সমান (D) ঘনত্বের মাত্রার সমান।
- [iv] সিস্ত বায়ুতে শব্দ দ্রুত চলে কারণ
(A) শুল্ক বায়ু অপেক্ষা সিস্ত বায়ু অপেক্ষাকৃত ভারী,
(B) শুল্ক বায়ু অপেক্ষা সিস্ত বায়ুর γ -র মান বেশি,
(C) শুল্ক বায়ুর চাপ অপেক্ষা সিস্ত বায়ুর চাপ বেশি,
(D) শুল্ক বায়ুর ঘনত্বের তুলনায় সিস্ত বায়ুর ঘনত্ব কম।
- [v] বায়ুতে জলীয় বাষ্পের আধিক্য হলে ঐ বায়ুতে শব্দের বেগ
(A) কমে যায় (B) বেড়ে যায় (C) একই থাকে (D) কোনটাই নয়।
- [vi] তাপমাত্রা অপরিবর্তিত রেখে গ্যাসের চাপ দ্বিগুণ করলে ঐ গ্যাসে শব্দের গতিবেগ
(A) দ্বিগুণ বেড়ে যায় (B) দ্বিগুণ কমে যায়
(C) একই থাকে (D) শূন্য হয়।
- [vii] নিম্নলিখিত উক্তিগুলির মধ্যে কোনটি ঠিক নয় :
(A) শব্দ তরঙ্গা শক্তি পরিবহন করে (B) শব্দতরঙ্গ সরল রেখা বরাবর চলাচল করে
(C) শব্দ তরঙ্গা বৃদ্ধতাপ প্রক্রিয়া অগ্রসর হয় (D) বায়ু অপেক্ষা শূন্য মাধ্যমে শব্দ তরঙ্গা দ্রুত চলাচল করে।
- [viii] 273K তাপমাত্রায় শব্দের যে বেগ কোন্ তাপমাত্রায় বেগ তার দ্বিগুণ হবে ?
(A) 2×273 K (B) 4×273 K (C) 8×273 K (D) 16×273 K.
- [ix] নিম্নলিখিত উক্তিগুলির মধ্যে সঠিক উক্তিটি নির্ধারণ করো :
(A) তরঙ্গা যদি অনুদৈর্ঘ্য হয় তবে তা অবশ্যই যান্ত্রিক তরঙ্গা,
(B) তরঙ্গা যদি যান্ত্রিক হয় তবে তা তির্যক হতে পারে, আবার নাও হতে পারে,
(C) শূন্য দেশে কোনো যান্ত্রিক তরঙ্গের অবস্থিতি সম্ভব নয়,
(D) অন্যান্য তরঙ্গা থেকে যান্ত্রিক তরঙ্গা আলাদাভাবে বেছে নেবার উপায় হল তরঙ্গের অপবর্তন।
- [x] জলের আয়তন বিকার গুণাঙ্ক 2.0×10^{10} dyne/cm² হলে জলে শব্দের গতিবেগ হবে
(A) $\sqrt{2} \times 10^3$ m/s (B) $\sqrt{2}$ m/s (C) $1.4\sqrt{2}$ m/s (D) $\sqrt{2} \times 332$ m/s.
- [xi] সাধারণ অবস্থায় বায়ুতে শব্দের বেগ প্রায় 330 m/s হলে ঐ অবস্থায় হাইড্রোজেন গ্যাসে বেগ হবে প্রায়
(A) 330 m/s (B) 1200 m/s (C) 600 m/s (D) 900 m/s.
- [xii] বিদ্যুৎবালক দেখার 5.5 সেকেন্ড পর বজ্রের শব্দ শোনা গেল। শব্দের বেগ = 330 m/s হলে বিদ্যুৎ বালকের দূরত্ব
(A) 1.815 km (B) 18.15 km (C) 0.1815 km (D) 181.5 km.
- [xiii] উষ্ণতা 10°C থেকে 20°C-এ বৃদ্ধি পেলে বায়ুতে শব্দের বেগের শতকরা পরিবর্তন হয় প্রায়
(A) 2% (B) 1.75% (C) 1.5% (D) 2.1%.
- [xiv] বায়ুতে শব্দের বেগ সংক্রান্ত নিউটন সূত্রের ল্যাপলাস শূন্যের কারণ শব্দ তরঙ্গা
(A) তির্যক তরঙ্গা (B) সরল দোলতরঙ্গা
(C) তড়িৎ চুম্বকীয় তরঙ্গা (D) বায়ু মাধ্যমের বৃদ্ধতাপ প্রক্রিয়ায় সম্মিলন।
- [xv] বায়ুর আর্দ্রতা হ্রাস পেলে বায়ুতে শব্দের বেগ
(A) বৃদ্ধি পায় (B) হ্রাস পায় (C) একই থাকে (D) নির্দিষ্টভাবে বলা যায় না।

- [xvi] বায়ুতে শব্দের বেগ নিম্নলিখিত কোন রাশির পরিবর্তনের উপর নির্ভর করে না ?
 (A) বায়ুর উচ্চতা (B) বায়ুর আর্দ্রতা (C) বায়ুর ঘনত্ব (D) বায়ুর চাপ।
- [xvii] হিলিয়াম গ্যাসে -173°C তাপমাত্রায় শব্দের বেগ 285 m/s । হিলিয়ামের আণবিক ভর 4 এবং গ্যাসস্থলক $R = 8.31 \times 10^7 \text{ erg/mole}^{\circ}\text{C}$ হলে এই গ্যাসের γ -এর মান
 (A) 1.2 (B) 1.63 (C) 1.4 (D) 1.1.
- [xviii] জলের তুলনায় ইস্পাতের আয়তন বিকৃতি গুণাঙ্ক ও ঘনত্ব যথাক্রমে 80 এবং গুণ হলে ইস্পাত ও জলে শব্দের বেগের অনুপাত হয়
 (A) $1 : \sqrt{5}$ (B) $1 : \sqrt{10}$ (C) $\sqrt{5} : 1$ (D) $\sqrt{10} : 1$.
- [xix] চাপ 1 বায়ুমন্ডল এবং তাপমাত্রা 1°C বৃদ্ধি পেলে বায়ুতে শব্দের গতিবেগ
 (A) 0.61 m/s বৃদ্ধি পায় (B) 0.61 m/s হ্রাস পায় (C) 61 m/s বৃদ্ধি পায় (D) 61 cm/s হ্রাস পায়।
- [xx] 512 কম্পাঙ্কের একটি সুরশলাকাকে বন্ধ নলের মুখে ধরে দেখা গেল যে বায়ুস্তম্ভের ন্যূনতম দৈর্ঘ্য 17 cm হলে অনুনাদ সৃষ্টি হয়। বায়ুতে শব্দের গতিবেগ
 (A) 343.16 m/s (B) 350 m/s (C) 348 m/s (D) 360 m/s .
- [xxi] যদি গ্যাসের ঘনত্ব ρ হয় তাহলে নিউটনের সূত্র অনুযায়ী গ্যাসটিতে শব্দের বেগ (V) হল
 (A) $V \propto \frac{1}{\rho}$ (B) $V \propto \frac{1}{\sqrt{\rho}}$ (C) $V \propto \frac{1}{\rho^2}$ (D) $V \propto \rho$. [Jt. Entrance 2006]
- [xxii] গ্যাস মাধ্যমে শব্দের বেগ সংক্রান্ত ল্যাপলাসের সমীকরণটি হল
 (A) $V = \sqrt{\frac{P}{\rho}}$ (B) $V = \sqrt{\frac{\gamma P}{\rho}}$ (C) $V = \sqrt{\frac{P}{\gamma \cdot \rho}}$ (D) $V = \sqrt{\frac{\gamma \cdot \rho}{P}}$. [Jt. Entrance 2006]

(B) ভুল কি নির্ভুল বিচার করো (True or false type) :

- গ্যাসে বায়ুর গতিবেগ গ্যাসের ঘনত্বের বর্গমূলের ব্যস্তানুপাতিক।
- দিনে ও রাত্ৰিতে শব্দের গতিবেগ এক থাকে না।
- বর্ষাকালে এবং শীতকালে একই তাপমাত্রায় শব্দের গতিবেগ সমান থাকে।
- বজ্রধ্বনি বজ্রপাতের সঙ্গে সঙ্গে শোনা যায়।
- N.T.P.-তে শব্দের বেগ সাধারণত গ্যাস মাধ্যম অপেক্ষা কঠিনের ভিতর বেশি হয়।
- একটি প্রতিফলন 5টি পদাংশ পুনরাবৃত্তি করল। বায়ুতে শব্দের গতিবেগ 330 ms^{-1} হলে উৎস থেকে প্রতিফলকের দূরত্ব হবে 160 metre .

(C) শূন্যস্থান পূরণ করো (Fill up the gaps) :

- গ্যাসে বায়ুর গতিবেগ এই গ্যাসের ঘনত্বের _____ ব্যস্তানুপাতিক।
- বর্ষাকালে এবং শীতকালে একই তাপমাত্রায় শব্দের _____ সমান থাকে না।
- যত বেশি উচ্চতা আরোহণ করা যায় শব্দের বেগ তত _____ পায়।
- একই গভীর জলাশয়ের উপরতলে শব্দের বেগ জলাশয়ের তলায় বেগের অনেক _____।
- শব্দরত্নের বিস্তৃতি মাধ্যমের _____ অবস্থায় সংঘটিত হয়।
- ল্যাপলাসের শৃঙ্খি অনুযায়ী বায়ুমাধ্যমে শব্দ বেগ $V = \frac{1}{\sqrt{\rho}}$ ।

সরল গাণিতিক প্রশ্ন

- একটি নির্দিষ্ট সময়ে কেব্লা থেকে তোপধ্বনি করা হয়। দূর থেকে কোনো ব্যক্তি এই শব্দ শুনে নিজের ঘড়ি ঠিক করে নিল। কিন্তু পরে দেখল তার ঘড়ি আশ মিনিট 'স্লো' গিয়েছে। কেন এরূপ হল বলতে পার কী? শব্দের গতিবেগ 1100 ফুট/সেকেন্ড ধরে নিলে কেব্লা থেকে এই ব্যক্তির দূরত্ব (মাইলে) হিসাব করতে পার কী? [Ans. $6 \frac{1}{4}$]
- বজ্রের ঝলক দেখার 5.5 সেকেন্ড পরে বজ্রনাদ শোনা গেল। তখনকার তাপমাত্রা 20°C হলে মেঘের দূরত্ব নির্ণয় করো। 0°C তাপমাত্রায় শব্দের বেগ 330 m/s . [Ans. 1.881 km]

3. 27°C উষ্ণতায় এক নির্দিষ্ট সময়ে দুর্গ থেকে তোপধ্বনি শুনে এক ব্যক্তি তার ঘড়ি ঠিক করে দেখল যে ঘড়িটি 10 সেকেন্ড স্লো যাচ্ছে। শব্দের গতিবেগ 0°C উষ্ণতায় 330 metre/s হলে দুর্গ থেকে ব্যক্তির দূরত্ব নির্ণয় করো।

[Ans. 3463.2 metres]

4. (a) উষ্ণতা 10°C থেকে বৃদ্ধি পেয়ে 20°C হলে শব্দের বেগের শতকরা পরিবর্তন কত হবে নির্ণয় করো।

[Jt. Entrance 1989] [Ans. 1.75%]

- (b) প্রমাণ অবস্থায় অক্সিজেনে শব্দের বেগ 317 m/s হলে 30°C উষ্ণতায় ও 374 mm চাপে হাইড্রোজেনে তার বেগ কত?

[Ans. 1336 m/s]

5. কোন তাপমাত্রায় বায়ুতে শব্দের বেগ 10°C উষ্ণতায় বেগের 1.5 গুন হবে?

[Ans. 363.75°C]

[সংকেতঃ $V \propto \sqrt{T}$ প্রয়োগ করো।]

6. কোনো এক শীতের দিনে শব্দ সেকেন্ডে 336 মিটার দূরত্ব যায়। বায়ুমন্ডলের উষ্ণতা নির্ণয় করো। 0°C উষ্ণতায় শব্দের বেগ = 332 m/s.

[Ans. 7°C]

7. কোন দিনের তাপমাত্রা যখন 29°C তখন 1750 metre দূরের কোনো বন্দুকের বলক দেখার 4 সেকেন্ড পরের শব্দ শোনা গেল। 0°C-এ শব্দের গতিবেগ এবং বায়ুর ঘনত্ব নির্ণয় করো। [এ সময় বায়ুমণ্ডলীয় চাপ = 76 cm পারদ এবং দুই আপেক্ষিক তাপের অনুপাত = 1.41.]

[Ans. 415.4 metre/s ; $0.746 \times 10^{-3} \text{ g/cm}^3$]

8. এক লিটার হাইড্রোজেন ও এক লিটার বায়ুর ভর একই উষ্ণতা ও চাপে যথাক্রমে 0.0896 g এবং 1.293 g. বায়ুতে শব্দের বেগ এই উষ্ণতায় 330 m/s হলে হাইড্রোজেন গ্যাসে এই গতিবেগ কত হবে?

[Ans. 1253.6 m/s]

9. একটি পাথরখণ্ড একটি স্তম্ভের শীর্ষ থেকে ফেলা হল এবং মাটিতে আঘাত করার শব্দ 4.4 s পরে শোনা গেল। স্তম্ভটির উচ্চতা নির্ণয় করো। বাতাসে শব্দের বেগ = 1000 ft/s এবং $g = 32 \text{ ft/s}^2$.

[Ans. 272.25 ft]

10. 44.1 মিটার গভীর একটি কুন্ডের মধ্যে একটি ঢিল ছেড়ে দেওয়া হল। কত সময় পরে ঢিলটি জলে পড়ার শব্দ শোনা যাবে? বায়ুতে শব্দের বেগ = 340 m/s.

[Ans. 3.13 s (প্রায়)]

11. 27°C তাপমাত্রায় শুষ্ক বায়ুতে শব্দের বেগ 348 metre/s এবং 27°C-এ সংপৃক্ত জলীয় বাষ্পের চাপ = 11.2 mm পারদস্তম্ভের সমান। 22°C তাপমাত্রায় জলীয় বাষ্প দ্বারা সংপৃক্ত বায়ুতে শব্দের বেগ কত?

[Ans. 348.97 metre/s]

[সংকেতঃ $V_m = V_d \left(1 + 0.189 \frac{f}{P} \right)$ সমীকরণ প্রয়োগ করো।]

12. জলে নিমজ্জিত 10 cm ব্যাসের একটি কাচনলের মুখে 512 কম্পাঙ্কের একটি সুরশলাকা ধরা হল। জল থেকে কাচনলকে কতখানি তুললে সুরশলাকার সাথে অনুনাদ হবে? শব্দের গতিবেগ = 330 metre/s.

[Ans. 16.11 cm]

13. 50 cm দৈর্ঘ্য ও উভয় মুখ খোলা বায়ুনল একটি সুরশলাকার সাথে অনুনাদী কম্পন করছে। বায়ুতে শব্দের বেগ 350 metre/s হলে সুরশলাকার কম্পাঙ্ক কত?

[Ans. 350]

14. 500 কম্পাঙ্কযুক্ত একটি সুরশলাকাকে কম্পিত অবস্থায় একটি বন্ধ নলের মুখে ধরে 15 cm এবং 49 cm বায়ুস্তম্ভের দৈর্ঘ্য অনুনাদ পাওয়া গেল। বায়ুতে শব্দের গতিবেগ কত?

[Ans. 340 metre/s]

15. 256 কম্পাঙ্কের একটি সুরশলাকাকে বন্ধ নলের খোলামুখে ধরে 31 cm এবং 97 cm দৈর্ঘ্য বায়ুস্তম্ভে সর্বাপেক্ষা জোর শব্দ শোনা গেল। প্রান্তিক ত্রুটি ও বায়ুতে শব্দের গতিবেগ নির্ণয় করো।

[Ans. 2 cm ; 337.92 metre/s]

➔ কঠিন গাণিতিক প্রশ্ন

1. কোন গ্যাসের $\gamma = 1.41$ হলে, প্রমাণ করো যে, এই গ্যাসে শব্দের গতিবেগ $0.68 C$ যেখানে C হচ্ছে গ্যাস অণুর আর. এম্. এস্. গতিবেগ।

2. 512 Hz কম্পাঙ্কের একটি সুরশলাকা 17°C তাপমাত্রায় বায়ুতে যে-শব্দতরঙ্গ উৎপন্ন করে, তার দৈর্ঘ্য 66.5 cm ; প্রমাণ চাপ ও তাপমাত্রায় বায়ুর ঘনত্ব $1.293 \times 10^{-3} \text{ g/cm}^3$ হলে, বায়ুর মোলার আপেক্ষিক তাপদ্বয়ের অনুপাত নির্ণয় করো। পারদের ঘনত্ব = 13.6 g/cm^3 এবং $g = 980 \text{ cm/s}^2$.

[Ans. 1.48]

3. এক ব্যক্তি সোজা উত্তরমুখী তাকিয়ে একটি বন্দুকের বলক দেখবার 4 s পরে শব্দ শুনতে পেল। বায়ুর তাপমাত্রা 20°C এবং বায়ু 48 km/h গতিবেগে পূর্ব থেকে পশ্চিমে প্রবাহিত হলে, ব্যক্তি থেকে বন্দুকের দূরত্ব নির্ধারণ করো। 0°C উষ্ণতায় বায়ুতে শব্দের গতিবেগ = 330 metre/s.

[Ans. 1368.8 metre]

4. একটি রেলপথের উপর বোমা বিক্ষেপণ করে তীব্র শব্দ সৃষ্টি করা হল। 1 km দূরে এক ব্যক্তি লাইনের উপর কান রেখে দুটি শব্দ শুনতে পেল। শব্দ দুটির ভিতর সময় ব্যবধান কত ছিল? ইস্পাতের $Y = 2 \times 10^{12} \text{ dyne/cm}^2$;

$$\rho = 7.8 \text{ g/cm}^3; \text{ বায়ুর ঘনত্ব} = 0.0013 \text{ g/cm}^3; \gamma = 1.4 \text{ এবং বায়ুচাপ} = 10^6 \text{ dyne/cm}^2.$$

[Ans. 2.85 সেকেন্ড]

5. একটি পাতকুয়োর মধ্যে পাথর ফেলা হল। পাথরটি জলস্পর্শ করবার শব্দ t সময় পরে শোনা গেল। পাতকুয়োর গভীরতা d নির্ণয় করো। d^2 অগ্রাহ্য করতে পার। $t = 3 \text{ s}$ হলে d -এর মান কত? $v = 330 \text{ m/s}$.

$$[\text{Ans. } vt^2/2 \left(\frac{v}{g} + t \right); 40.5 \text{ metre}]$$

6. একটি ট্যাপ থেকে সমহারে জল ফেলে একটি লম্বা চোঙাকৃতি পাত্র ভর্তি করা হচ্ছে। এক বাস্তি দেখতে পেল যে 100 s সময় অন্তর 300 কম্পাঙ্কের একটি সুরশলাকার সাথে অনুদাদ হচ্ছে। প্রতি সেকেন্ডে কত cm^3 আয়তনের জল সরবরাহ করা হচ্ছে, তা হিসাব করো। চোঙের ব্যাসার্ধ = 10 cm এবং শব্দের গতিবেগ = 330 metres/s. [Ans. $172.7 \text{ cm}^3/\text{s}$]
7. 27°C উষ্ণতা এবং 76 cm পারদচাপে আর্গন ও কার্বন ডাইঅক্সাইড গ্যাসে শব্দের গতিবেগের তুলনা করো। আর্গন ও কার্বন ডাইঅক্সাইডের আণবিক ভার যথাক্রমে 40 এবং 44; আর্গনের $\gamma = \frac{5}{3}$ এবং কার্বন ডাইঅক্সাইডের

$$\gamma = \frac{4}{3}.$$

$$[\text{Ans. } \sqrt{\frac{11}{8}}]$$

□ M.C.Q. প্রশ্নের উত্তর □

- | | | | | | |
|---------|----------|---------|----------|-----------|----------|
| (A) | | | | | |
| (i) C | (v) B | (ix) D | (xiii) B | (xvii) B | (xxi) B |
| (ii) C | (vi) C | (x) A | (xiv) D | (xviii) D | (xxii) B |
| (iii) B | (vii) D | (xi) B | (xv) D | (xix) A | |
| (iv) D | (viii) B | (xii) A | (xvi) D | (xx) A | |

(B) [i] বর্গমূলের, [ii] গতিবেগ, [iii] হ্রাস, [iv] কম, [v] বৃদ্ধিতাপ, [vi] $\sqrt{\frac{\gamma P}{\rho}}$.

(C) [i] নির্ভুল, [ii] নির্ভুল, [iii] ভুল, [iv] ভুল, [v] নির্ভুল, [vi] ভুল।

3
পরিচ্ছেদ



তরঙ্গের উপরিপাত [SUPERPOSITION OF WAVES]

3.1. উপরিপাতের নীতি (Principle of superposition):

তরঙ্গের উপরিপাতের নীতি সর্বপ্রথম উপস্থাপিত করেন টমাস ইয়ং 1801 খ্রিস্টাব্দে। এই নীতি অনুযায়ী কোনো মাধ্যমের ভিতর দিয়ে যুগপৎ একাধিক তরঙ্গ চলে গেলে, মাধ্যমের যে-কোনো বিন্দুর লম্ব সরণ প্রত্যেকটি তরঙ্গ পৃথকভাবে ঐ বিন্দুতে যে সরণ সৃষ্টি করে তাদের ভেক্টর সমষ্টির সমান হবে। মনে করো, একটি তরঙ্গের জন্য মাধ্যমের কোনো বিন্দুতে এক সময় সরণ হল y_1 ; দ্বিতীয় একটি তরঙ্গের জন্য, ধরো, ঐ বিন্দুতে সরণ y_2 ; তাহলে ঐ দুটি তরঙ্গ যুগপৎ চলে গেলে, ঐ বিন্দুর লম্ব সরণ (y) হবে $y = y_1 \pm y_2$; যদি সরণ দুটি একই অভিমুখে এবং একই লাইন বরাবর হয় তবে পজিটিভ অথবা ধনাত্মক চিহ্ন নিতে হবে; আর সরণ দুটি বিপরীতমুখী কিন্তু একই লাইন বরাবর হলে নেগেটিভ অথবা ঋণাত্মক চিহ্ন নিতে হবে।

শব্দ, আলো, এক্স-রশ্মি প্রভৃতি তরঙ্গের বেলায় সাধারণভাবে এই নীতি প্রযোজ্য। উপরিপন্ন তরঙ্গগুলির গতির অভিমুখ, কম্পাঙ্কের পার্থক্য বা বিস্তারের পার্থক্য এই নীতির প্রয়োগে কোনো বাধা জন্মায় না; তবে তরঙ্গগুলির কম্পাঙ্ক ও বিস্তার সমান বা প্রায় সমান হলে নিম্নলিখিত দুটি গুরুত্বপূর্ণ ঘটনার উৎপত্তি হয়। যেমন,

(ক) স্থাণুতরঙ্গ (Stationary or Standing waves): সর্ববিষয়ে একরকম দুটি সরল দোলতরঙ্গ বিপরীত দিক থেকে অগ্রসর হয়ে একে আর একের উপর আপতিত হলে স্থাণুতরঙ্গের উদ্ভব হয়।

(খ) স্বরকম্প (Beats): একই বিস্তারের কিন্তু সামান্য পৃথক কম্পাঙ্কের দুটি সরল দোলতরঙ্গ একই দিকে অগ্রসর হয়ে পরস্পরের উপর আপতিত হলে স্বরকম্পের উদ্ভব হয়।

এই পরিচ্ছেদে আমরা তরঙ্গের—বিশেষত শব্দতরঙ্গের ক্ষেত্রে উপরিউক্ত ঘটনাগুলির বিশদ আলোচনা করব।

3.2. স্থাণুতরঙ্গ (Stationary or standing waves):

পূর্বে উল্লেখ করা হয়েছে, তির্যক তরঙ্গ বা অনুদৈর্ঘ্য তরঙ্গকে চলতরঙ্গ (progressive waves) বলা হয়, কারণ, এই তরঙ্গ মাধ্যমের একস্থান থেকে অন্যস্থানে চলাচল করে।

সংজ্ঞা : একই বিস্তার ও কম্পাঙ্কের দুটি চলতরঙ্গ বিপরীত দিক থেকে সমবেগে অগ্রসর হয়ে একটি আর একটির উপর আপতিত হলে যে তরঙ্গের সৃষ্টি হয় তাকে স্থাণুতরঙ্গ বলে।

এস্থলে যে-কোনো মুহূর্তে মাধ্যমের কণাগুলির স্পন্দন উক্ত তরঙ্গ দুটির উপর নির্ভর করে। দেখা যায়, মাধ্যমের কণাগুলি উক্ত তরঙ্গ দুটির প্রভাবে যে-কোনো মুহূর্তে এক বিশেষ তরঙ্গাকৃতিতে সজ্জিত হয়। ওই তরঙ্গের বিশেষত্ব এই যে সময়ের পরিবর্তনে মাধ্যমের ভিতর দিয়ে এই তরঙ্গ অগ্রসর হয় না; মাধ্যমের ওই অংশেই পর্যায়ক্রমে উৎপন্ন ও বিলুপ্ত হয়। এই তরঙ্গের কোনো চলন নেই বলে একে বলা হয় স্থাণুতরঙ্গ। তা ছাড়া লক্ষ করলে দেখা যাবে, মাধ্যমের কোনো কোনো বিশেষ বিন্দুতে অবস্থিত কণাগুলির

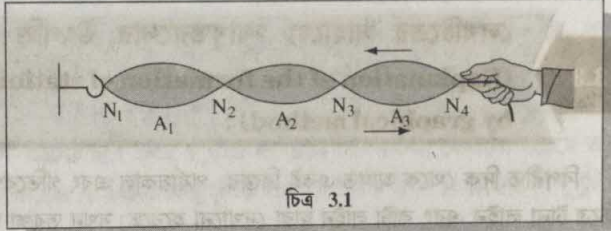
কোনো স্পন্দন নেই আবার কোনো কোনো বিশেষ বিন্দুতে অবস্থিত কণাগুলির স্পন্দন সর্বাধিক।

□ প্রদর্শনের পরীক্ষা :

স্থাগুতরঙ্গের উৎপত্তি প্রদর্শনের জন্য নিম্নলিখিত সহজ পরীক্ষা করা যেতে পারে। একটি তার নিয়ে একপ্রান্ত দৃঢ়ভাবে আটকে অন্যপ্রান্তে আড়াআড়িভাবে বা উপর-নীচ ঝাঁকুনি দিলে তির্যক তরঙ্গ তার বেয়ে অগ্রসর হবে এবং বন্ধপ্রান্ত কর্তৃক প্রতিফলিত হয়ে পুনরায় ফিরে আসবে। এই প্রতিফলিত তরঙ্গ যখন নতুন অগ্রগামী তরঙ্গের উপর পড়বে তখন তারে স্থাগুতরঙ্গের উৎপত্তি হবে কিন্তু এই তরঙ্গ তার বেয়ে অগ্রসর হবে না; তারের ঐ অংশেই পর্যায়ক্রমে উৎপন্ন হবে এবং বিলুপ্ত হবে। আরও লক্ষ করলে দেখা যাবে তারের কোনো কোনো অংশ মোটেই

স্পন্দিত হচ্ছে না এবং কোনো কোনো অংশের স্পন্দন সর্বাধিক।

3.1 নং চিত্রে ঐরূপ টানা দেওয়া তারে স্থাগুতরঙ্গের উৎপত্তি দেখানো হয়েছে। ঐ স্থাগুতরঙ্গের N_1, N_2 প্রভৃতি বিন্দুর কোনো



চিত্র 3.1

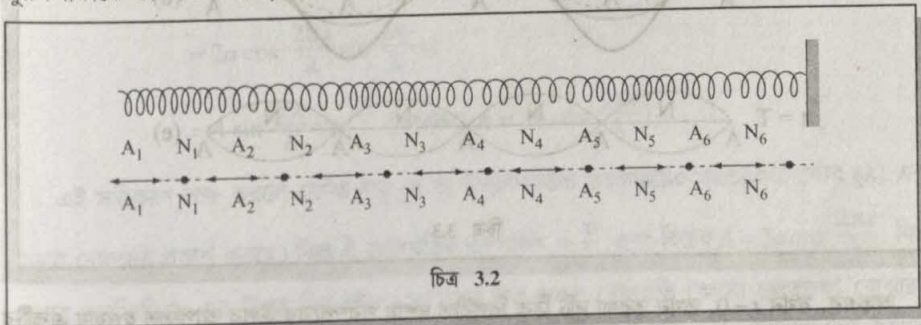
স্পন্দন নেই এবং A_1, A_2 প্রভৃতি বিন্দুর স্পন্দন সর্বাধিক। তা ছাড়া তারের N_1, N_2 অংশ অথবা N_2, N_3 প্রভৃতি অংশগুলি একযোগে তরঙ্গের আকারে ওঠানামা করে এবং ঐ তরঙ্গ একস্থান থেকে অন্যস্থানে সঞ্চারিত হয় না; তারের ঐ অংশেই পর্যায়ক্রমে তাদের উদ্ভব ও বিলয় হয়। এই কারণে এই তরঙ্গকে স্থাগুতরঙ্গ (stationary waves) বা দণ্ডায়মান তরঙ্গ (standing waves) বলা হয়।

N_1, N_2 প্রভৃতি বিন্দুগুলি—যাদের কোনো স্পন্দন নেই—তাদের বলা হয় নিস্পন্দ বিন্দু (nodes) এবং A_1, A_2 প্রভৃতি সর্বাধিক স্পন্দনের বিন্দুগুলিকে বলা হয় সুস্পন্দ বিন্দু (antinodes)।

দুটি পরপর নিস্পন্দ বিন্দু বা সুস্পন্দ বিন্দুর মধ্যবর্তী দূরত্ব স্থাগুতরঙ্গ দৈর্ঘ্যের অর্ধেকের সমান। স্থাগুতরঙ্গের দৈর্ঘ্য λ হলে $N_1, N_2 = A_1, A_2 = \lambda/2$ (3.1 নং চিত্র)। সুতরাং, $N_1, N_3 = A_1, A_3 = \lambda$ অথবা, $N_1, A_1 = \lambda/4$ ।

○ অনুদৈর্ঘ্য তরঙ্গের উপরিপাতে স্থাগুতরঙ্গ :

পূর্বোক্ত তারের পরীক্ষায় তির্যক তরঙ্গের সাহায্যে স্থাগুতরঙ্গের উৎপত্তি দেখানো হয়েছে। একটি নমনীয় স্প্রিং নিয়ে অনুদৈর্ঘ্য তরঙ্গের সাহায্যে স্থাগুতরঙ্গের উৎপত্তি দেখানো যেতে পারে। স্প্রিং-এর দৈর্ঘ্য বরাবর অগ্র-পশ্চাৎ নাড়ালে, অথবা স্প্রিংয়ের এক প্রান্ত সুরশলাকার একটি বাহুর সাথে যুক্ত করে সুরশলাকাকে কম্পিত করলে, স্প্রিং বরাবর একটি অনুদৈর্ঘ্য তরঙ্গ (ঘনীভবন ও তনুভবনের সমষ্টি)



চিত্র 3.2

অগ্রসর হবে এবং বন্ধপ্রান্তে প্রতিফলিত হয়ে পুনরায় ফিরে আসবে। আপতিত ও প্রতিফলিত তরঙ্গ পরস্পরের উপর আপতিত হয়ে নিস্পন্দ বিন্দু (N_1, N_2 ইত্যাদি) এবং সুস্পন্দ বিন্দু (A_1, A_2 ইত্যাদি) সৃষ্টি করবে [চিত্র 3.2]। নিস্পন্দ বিন্দুগুলিতে স্প্রিং-এর কণার কোনো স্পন্দন নেই এবং সুস্পন্দ বিন্দুতে

কণার অগ্র-পশ্চাৎ সর্বাধিক সরণ হয়। এটা চিত্র 3.2-তে দেখানো হয়েছে।

এক্ষেত্রেও দুটি পরপর নিম্পন্দ বিন্দু বা দুটি পর পর সুস্পন্দ বিন্দুর মধ্যবর্তী দূরত্ব স্থাণুতরঙ্গের দৈর্ঘ্যের অর্ধেকের সমান। স্থাণুতরঙ্গের দৈর্ঘ্য λ হলে, $N_1 N_2 = A_1 A_2 = \lambda/2$; সুতরাং, $N_1 N_3 = A_1 A_3 = \lambda$ অথবা, $A_1 N_1 = \lambda/4$ ।

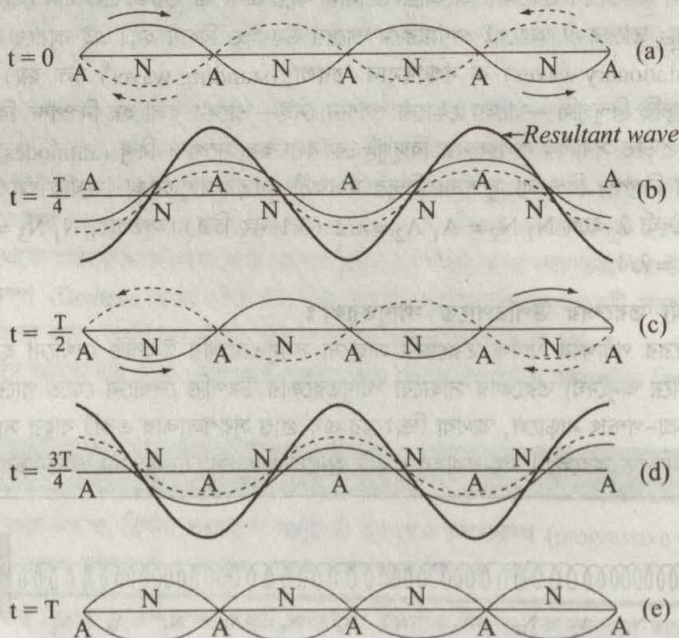
উল্লেখযোগ্য যে প্রায় সকল তারের বাদ্যযন্ত্রে (সেতার, এসাজ প্রভৃতি) দুই তির্যক তরঙ্গের উপরিপাতে স্থাণুতরঙ্গের উৎপত্তি হয় এবং বায়ুচালিত বাদ্যযন্ত্রে (বাঁশি, অর্গান ইত্যাদি) দুই অনুদৈর্ঘ্য তরঙ্গের উপরিপাতে স্থাণুতরঙ্গের উৎপত্তি হয়।

লেখচিত্রের সাহায্যে স্থাণুতরঙ্গের উৎপত্তি ব্যাখ্যা

3.3.

(Explanation of the formation of stationary waves by graphical method):

বিপরীত দিক থেকে আগত একই বিস্তার, পর্যায়কাল এবং গতিবেগযুক্ত দুটি চলতরঙ্গকে 3.3 (a) নং চিত্রে টানা লাইন এবং কাটা লাইন দ্বারা দেখানো হয়েছে। যখন তরঙ্গ দুটি ঠিক বিপরীত দশায় পরস্পরের সাথে মিলিত হল [চিত্র 3.3 (a)] ধরো, তখন থেকে সময় গণনা শুরু করা হল।



চিত্র 3.3

অতএব, যখন $t=0$, তখন তরঙ্গ দুটি ঠিক বিপরীত দশায় পরস্পরের উপর আপতিত হওয়ায় একটির তরঙ্গাংশীর্ষ অপরাটির তরঙ্গাপাদের সাথে মিলবে এবং সেখানে লম্ব সরণ শূন্য হবে। এভাবে সর্বত্র দুটি তরঙ্গের জন্য সরণ বিপরীত এবং সমান হওয়ায় সর্বত্র লম্ব সরণ হবে শূন্য। লম্ব লেখ, এক্ষেত্রে একটি সরলরেখা হবে। 3.3 (a) নং চিত্রে টানা সরলরেখা দ্বারা লম্ব লেখ দেখানো হয়েছে। সময়ের সঙ্গে সঙ্গে

তরঙ্গাদ্বয় নিজস্ব অভিমুখে এগিয়ে যাবে। পর্যায়কালের এক-চতুর্থাংশ অতিবাহিত হলে তারা তরঙ্গদৈর্ঘ্যের এক-চতুর্থাংশ দূরত্ব অতিক্রম করবে। এর অর্থ এই যে একটি তরঙ্গের তরঙ্গাংশ যে-স্থান অধিকার করেছে অপর তরঙ্গের তরঙ্গাংশও সেই স্থান অধিকার করবে। অনুবৃত্তভাবে, উভয় তরঙ্গের তরঙ্গাপাদগুলিও মিলে যাবে। A চিহ্নিত বিন্দুগুলিতে সরণের পরিমাণ সর্বাধিক এবং মাধ্যমের ঐ স্থানের কণাগুলি বিস্তারের সর্বশেষ প্রান্তে অবস্থান করে। আবার, N চিহ্নিত বিন্দুগুলিতে মাধ্যমের কণার কোনো সরণ নেই—তারা স্থির [চিত্র 3.3 (b)]। এই অবস্থায় লম্ব তরঙ্গের আকৃতি মোটা রেখা দ্বারা দেখানো হয়েছে।

পর্যায়কালের অর্ধেক অতিবাহিত হলে, তরঙ্গাদ্বয় বিপরীত দিকে তরঙ্গদৈর্ঘ্যের অর্ধেক দূরত্ব অগ্রসর হবে এবং একটি তরঙ্গের তরঙ্গাংশ অপরটির তরঙ্গাপাদের সাথে মিলিত হবে। এই অবস্থায় মাধ্যমের সকল কণাগুলিই মধ্য অবস্থান অতিক্রম করার উদ্যোগ করে এবং মুহূর্তের জন্য গতিহীন হয়। ফলে, লম্ব লেখ পুনরায় একটি সরলরেখা হয় [চিত্র 3.3 (c)]।

পর্যায়কালের আরও এক-চতুর্থাংশ অতিবাহিত হলে [অর্থাৎ, যখন $t = 3T/4$] তরঙ্গাদ্বয় বিপরীত দিকে আরও তরঙ্গদৈর্ঘ্যের এক-চতুর্থাংশ অগ্রসর হবে এবং 3.3(b) নং চিত্রে যে-অবস্থা দেখানো হয়েছে তার বিপরীত অবস্থার সৃষ্টি করবে। এক্ষেত্রেও A চিহ্নিত বিন্দুগুলির সরণ সর্বাধিক এবং N চিহ্নিত বিন্দুগুলির সরণ শূন্য [চিত্র 3.3 (d)]।

যখন $t = T$, তখন আবার প্রাথমিক অবস্থার উদ্ভব হবে [চিত্র 3.3 (e)]।

অতএব, দেখা যায় যে, একটি পূর্ণ পর্যায়কাল অতিবাহিত হলে, A চিহ্নিত বিন্দুগুলির সরণ সর্বাধিক হয় এবং N চিহ্নিত বিন্দুগুলি সর্বদা স্থির থাকে। প্রথমোক্ত বিন্দুকে বলা হয় সুস্পন্দ বিন্দু (antinodes) এবং শেষোক্ত বিন্দুগুলিকে বলা হয় নিস্পন্দ বিন্দু (nodes)।

3.4.

স্থানুতরঙ্গের গাণিতিক বিশ্লেষণ

(Mathematical analysis of stationary waves):

সমবিস্তার a , সমতরঙ্গদৈর্ঘ্য λ এবং সমবেগ v নিয়ে দুটি চলতরঙ্গ একই অক্ষ বরাবর পরস্পরের দিকে অগ্রসর হলে, আমরা তাদের নিম্নলিখিত সমীকরণ দ্বারা প্রকাশ করতে পারি :

$$y_1 = a \sin \frac{2\pi}{\lambda} (vt - x) \text{ এবং } y_2 = a \sin \frac{2\pi}{\lambda} (vt + x).$$

এই দুই তরঙ্গের উপরিপাতে লম্ব সরণ যদি y হয় তবে উপরিপাতের নীতি থেকে পাই,

$$y = y_1 + y_2 = a \sin \frac{2\pi}{\lambda} (vt - x) + a \sin \frac{2\pi}{\lambda} (vt + x)$$

$$= 2a \cos \frac{2\pi x}{\lambda} \sin \frac{2\pi}{\lambda} vt$$

$$= A \sin \frac{2\pi}{\lambda} vt. \quad [\text{এখানে, } A = 2a \cos \frac{2\pi x}{\lambda}]$$

এই সমীকরণ লক্ষ্য করলে বোঝা যায় যে তা উপরিপাতিত তরঙ্গদ্বয়ের সমতরঙ্গদৈর্ঘ্যের (λ) একটি সরল দোলগতি প্রকাশ করছে। কিন্তু ঐ দোলগতির কম্পাঙ্ক $= \frac{v}{\lambda}$ এবং বিস্তার $A = 2a \cos \frac{2\pi x}{\lambda}$; বিস্তার কণার অবস্থিতি x -এর উপর নির্ভরশীল। তা ছাড়া উক্ত সরল দোলগতি কোনো চলতরঙ্গ বোঝায় না কারণ তার দশা কোণের ভিতর ($vt \pm x$)-এর ন্যায় x -নির্ভর কোনো রাশি নেই। অতএব উক্ত সমীকরণ স্থানুতরঙ্গকে প্রকাশ করে।

○ সুস্পন্দ বিন্দু (Antinodes) : যে সকল বিন্দুতে লম্ব বিস্তার $A = \pm 2a$ সেখানে সুস্পন্দ বিন্দু তৈরি হবে অর্থাৎ, যে সকল বিন্দুতে $\frac{2\pi x}{\lambda} = 0, \pi, 2\pi, \dots, n\pi$ অথবা, $x = 0, \frac{\lambda}{2}, \frac{2\lambda}{2}, \dots, \frac{n\lambda}{2}$ ($n = 0, 1, 2, 3$ ইত্যাদি), সেই সকল বিন্দুতে বিস্তার সর্বাধিক হবে এবং সেখানে সুস্পন্দ বিন্দু গঠিত হবে। বলা বাহুল্য, দুটি সুস্পন্দ বিন্দুর ভিতর দূরত্ব $= \frac{\lambda}{2} =$ তরঙ্গদৈর্ঘ্যের অর্ধেক।

○ নিস্পন্দ বিন্দু (Nodes) : যে সকল বিন্দুতে লম্ব বিস্তার $A = 0$ সেই সকল বিন্দুতে নিস্পন্দ বিন্দু গঠিত হবে অর্থাৎ যে-সকল বিন্দুতে $\frac{2\pi x}{\lambda} = \frac{\pi}{2}, \frac{3\pi}{2}, \dots, (2n+1)\frac{\pi}{2}$ অথবা, $x = \frac{\lambda}{4}, \frac{3\lambda}{4}, \frac{5\lambda}{4}, \dots, (2n+1)\frac{\lambda}{4}$ সেই সকল বিন্দুই হবে নিস্পন্দ বিন্দু। এক্ষেত্রেও দেখা যায় পর পর দুটি নিস্পন্দ বিন্দুর ভিতর দূরত্ব $= \frac{\lambda}{2} =$ তরঙ্গদৈর্ঘ্যের অর্ধেক।

□ EXAMPLES □

1. 100 কম্পাঙ্কের শব্দতরঙ্গ একটি দেওয়ালের উপর অভিলম্বভাবে পড়ে প্রতিফলিত হল। দেওয়াল থেকে কত দূরে বায়ুকণাগুলির কম্পনের বিস্তার (i) সর্বাধিক ও (ii) সর্বনিম্ন হবে? বায়ুতে শব্দের বেগ $= 332 \text{ m/s}$.

উঃ। প্রতিফলিত শব্দতরঙ্গ ও অগ্রগামী শব্দতরঙ্গ পরস্পরের উপর আপতিত হয়ে স্থাণুতরঙ্গ সৃষ্টি করবে। দেওয়াল হবে একটি নিস্পন্দ বিন্দুর অবস্থান কারণ দেওয়ালের জন্য ঐ স্থানের বায়ুকণার কোনোরূপ গতি থাকবে না। অন্যান্য নিস্পন্দ বিন্দুগুলি দেওয়াল থেকে এইরূপ দূরত্বে থাকবে যে প্রতি পরপর দুটি নিস্পন্দ বিন্দুর অন্তর্বর্তী দূরত্ব $= \frac{\lambda}{2}$; ধরো, এই দূরত্ব $= x$.

$$\text{এখন, } \lambda = \frac{V}{n} = \frac{332}{100} = 3.32 \text{ m}; \text{ অতএব, } x = \frac{\lambda}{2} = \frac{3.32}{2} = 1.66 \text{ m}.$$

অতএব, দেওয়াল থেকে নিস্পন্দ বিন্দুগুলি অথবা সর্বনিম্ন বিস্তারের বায়ুকণাগুলি 1.66, 3.32, 4.98 metre..... প্রভৃতি দূরত্বে থাকবে।

প্রতি দুটি নিস্পন্দ বিন্দুর মধ্যে একটি সুস্পন্দ বিন্দু থাকবে। কাজেই সর্বাধিক বিস্তারের কণাগুলি দেওয়াল থেকে 0.83, 2.49, 4.15 metre..... প্রভৃতি দূরত্বে থাকবে।

2. দুটি তরঙ্গ $y_1 = 0.05 \sin(3\pi t - 2x)$ এবং $y_2 = 0.05 \sin(3\pi t + 2x)$ সমাপতিত হয়ে স্থাণুতরঙ্গ সৃষ্টি করেছে। এখানে, x এবং y মিটার এককে এবং t সেকেন্ডে এককে মাপা হয়েছে। $x = 0.5 \text{ m}$ অবস্থানে কণার দোলনের বিস্তার নির্ণয় করো।

উঃ। সমাপতনের ফলে সৃষ্ট লম্ব তরঙ্গ হবে,

$$\begin{aligned} y &= y_1 + y_2 = 0.05 \sin(3\pi t - 2x) + 0.05 \sin(3\pi t + 2x) \\ &= 0.05 \left[2 \sin \frac{(3\pi t + 2x + 3\pi t - 2x)}{2} \times \cos \frac{(3\pi t + 2x - 3\pi t + 2x)}{2} \right] \\ &= 0.05 [2 \sin 3\pi t \cos 2x] \\ &= 0.1 \cos 2x \sin 3\pi t \end{aligned}$$

সুতরাং, উৎপন্ন স্থাণুতরঙ্গের বিস্তার $A = 0.1 \cos 2x$.

$$x = 0.5 \text{ metre হলে, } A = 0.1 \cos(2 \times 0.5) \text{ rad} = 0.1 \cos\left(\frac{180^\circ}{3.14}\right) \quad [\pi \text{ rad} = 180^\circ]$$

$$= 0.1 \cos 57.3^\circ = 0.1 \times 0.54 = 0.054 \text{ m} = 5.4 \text{ cm.}$$

3. একটি স্থাণুতরঙ্গকে $y = 5 \cos \frac{\pi x}{3} \sin 40\pi t$ সমীকরণ দ্বারা প্রকাশ করা যায়। এখানে x এবং y সেন্টিমিটারে এবং t সেকেন্ডে প্রকাশিত হয়েছে। যে দুটি তরঙ্গের উপরিপাতে উপরোক্ত স্থাণুতরঙ্গের উৎপত্তি হয়েছে তাদের (i) বিস্তার, (ii) তরঙ্গদৈর্ঘ্য এবং (iii) গতিবেগ নির্ধারণ করো। সমাপতিত তরঙ্গদ্বয়ের সমীকরণ কী হবে?

উঃ। সমবিস্তার a , সমতরঙ্গদৈর্ঘ্য λ এবং সমবেগ v নিয়ে দুটি চলতরঙ্গ একই অক্ষ বরাবর বিপরীতমুখী অগ্রসর-হলে, তাদের নিম্নলিখিত সমীকরণ দ্বারা প্রকাশ করা যায় :

$$y_1 = a \sin \frac{2\pi}{\lambda} (vt - x) \text{ এবং } y_2 = a \sin \frac{2\pi}{\lambda} (vt + x)$$

3.4 অনুচ্ছেদে আমরা দেখেছি যে তাদের উপরিপাতে যে স্থাণুতরঙ্গের উৎপত্তি হয়, তার সমীকরণ

$$y = 2a \cos \frac{2\pi x}{\lambda} \sin \frac{2\pi}{\lambda} vt \dots\dots (i)$$

$$\text{প্রদত্ত স্থাণুতরঙ্গের সমীকরণ } y = 5 \cos \frac{\pi x}{3} \sin 40\pi t \dots\dots (ii)$$

(i) ও (ii) এই সমীকরণ তুলনা করে বলা যায় যে $2a = 5$ অথবা আপতিত তরঙ্গদ্বয়ের বিস্তার

$$a = 2.5 \text{ cm. তা ছাড়া, } \frac{\pi x}{3} = \frac{2\pi x}{\lambda} \therefore \lambda = 6 \text{ cm.}$$

$$(iii) \text{ আবার, } \frac{2\pi}{\lambda} \cdot v = 40\pi \text{ অথবা, } v = 20 \times \lambda = 20 \times 6 = 120 \text{ cm/s.}$$

$$(iv) \text{ পরপর দুটি নিম্পন্দ বিন্দুর দূরত্ব } = \frac{\lambda}{2} = \frac{6}{2} = 3 \text{ cm.}$$

$$(v) x \text{ অভিমুখে গতিশীল সমাপতিত তরঙ্গের সমীকরণ } y_1 = 2.5 \sin \frac{2\pi}{6} (120t - x)$$

$$= 2.5 \sin \frac{\pi}{3} (120t - x); -x \text{ অভিমুখে গতিশীল তরঙ্গের সমীকরণ } y_2 = 2.5 \sin \frac{\pi}{3} (120t + x).$$

4. একটি তরঙ্গগতিকে $y = 4 \cos^2(t/2) \sin 1000t$ সমীকরণ দ্বারা প্রকাশ করা যায়। দেখাও যে তরঙ্গটি তিনটি পৃথক দোলতরঙ্গের উপরিপাতে সৃষ্টি হয়েছে।

উঃ। মনে করো, আমরা (i) $y_1 = \sin(\omega - \Delta\omega)t$ (ii) $y_2 = 2 \sin \omega t$ এবং (iii) $y_3 = \sin(\omega + \Delta\omega)t$ এই তিনটি দোলতরঙ্গের উপরিপাত বিবেচনা করছি। তাহলে

$$\begin{aligned} y &= y_1 + y_2 + y_3 = \sin(\omega - \Delta\omega)t + 2 \sin \omega t + \sin(\omega + \Delta\omega)t \\ &= \sin \omega t \cos \Delta\omega t - \cos \omega t \sin \Delta\omega t + 2 \sin \omega t + \sin \omega t \cos \Delta\omega t + \cos \omega t \sin \Delta\omega t \\ &= 2 \sin \omega t \cos \Delta\omega t + 2 \sin \omega t \\ &= 2 \sin \omega t (\cos \Delta\omega t + 1) \\ &= 4 \sin \omega t \cos^2\left(\frac{\Delta\omega}{2}t\right) \end{aligned}$$

যদি $\omega = 1000$ এবং $\Delta\omega = 1$ ধরা যায় তবে $y = 4 \cos^2(t/2) \sin 1000t$ অর্থাৎ প্রদত্ত তরঙ্গ সমীকরণ পাই। অতএব যে তিনটি তরঙ্গ উপরিপন্ন হয়েছে তারা $y_1 = \sin 999t$, $y_2 = 2 \sin 1000t$ এবং $y_3 = \sin(1001)t$.

3.5. স্থাণুতরঙ্গের বৈশিষ্ট্য (Characteristics of standing waves) :

স্থাণুতরঙ্গ সম্পর্কে পূর্ববর্তী অনুচ্ছেদগুলিতে যে আলোচনা করা হল তা থেকে এই তরঙ্গের নিম্নলিখিত বৈশিষ্ট্য লক্ষ করা যায় :—

- এই তরঙ্গের তরঙ্গাংশীর্ষ ও তরঙ্গাপাদ অথবা ঘনীভবন ও তনুভবন একযোগে সম্মুখের দিকে অগ্রসর হয় না। মাধ্যমের সীমিত অঞ্চলেই তারা যথাক্রমে গঠিত ও বিলুপ্ত হয়।
- তরঙ্গের বিভিন্ন বিন্দুতে কম্পনের বিস্তার বিভিন্ন; যে বিন্দুতে বিস্তার সর্বাধিক তাকে বলা হয় সুস্পন্দ বিন্দু।
- কতকগুলি বিন্দুতে মাধ্যমের কণার কোনো কম্পন দেখা যায় না; তাদের বলা হয় নিস্পন্দ বিন্দু।
- পর পর দুটি নিস্পন্দ বিন্দুর মধ্যস্থিত সকল কণাগুলি একই দিকে সরণ হয়। এইরূপ অংশকে বলা হয় ‘লুপ’ (loop)।
- পর পর দুটি লুপের কণাগুলির সরণ বিপরীত দিকে হয়।
- নিস্পন্দ বিন্দুতে চাপের পরিবর্তন তথা ঘনত্বের পরিবর্তন সর্বাধিক; আবার সুস্পন্দ বিন্দুতে চাপের পরিবর্তন তথা ঘনত্বের পরিবর্তন শূন্য।

3.6. চলতরঙ্গ ও স্থাণুতরঙ্গের পার্থক্য (Distinction between progressive and standing waves) :

চলতরঙ্গ	স্থাণুতরঙ্গ
1. মাধ্যমের কোনো অঞ্চলের কণাগুলির নিরন্তর পর্যাবৃত্ত গতির ফলে চলতরঙ্গের উদ্ভব হয়।	1. মাধ্যমের ভিতর দিয়ে বিপরীতমুখী দুটি একই রকমের চলতরঙ্গের উপরিপাতের ফলে স্থাণুতরঙ্গের উদ্ভব হয়।
2. তরঙ্গের বিস্তারের অভিমুখে এক কণার কম্পন পরবর্তী কণায় হস্তান্তরিত হয়। ফলে, তরঙ্গ নির্দিষ্ট গতিবেগে অগ্রসর হয়ে যায়।	2. মাধ্যমের ভিতর দিয়ে তরঙ্গের কোনো গতি নেই। মাধ্যমের যে অঞ্চলে চলতরঙ্গদ্বয়ের উপরিপাত হয় সেই অঞ্চলে স্থাণুতরঙ্গ আবদ্ধ থাকে।
3. বিস্তার, বেগ, ত্বরণ ইত্যাদি সাপেক্ষে মাধ্যমের প্রতিটি কণা একই পৌনঃপুনিকভাবে একই ধরনের পরিবর্তনচক্রের মধ্য দিয়ে আবর্তিত হয়।	3. স্থাণুতরঙ্গের বিস্তার, বেগ, চাপ, পরিবর্তন ইত্যাদি বিন্দু হতে বিন্দুতে পৃথক হয় কিন্তু প্রতি বিন্দুতে এদের মান স্থির।
4. তরঙ্গের গতির অভিমুখে কণাগুলির ভিতর কম্পনদশার পার্থক্য থাকে কিন্তু বিস্তার সমান হয়। দুই কণার দশাপার্থক্য তাদের দূরত্বের সমানুপাতিক।	4. দুটি নিস্পন্দ বিন্দুর ভিতর সকল কণার দশা সমান কিন্তু বিস্তার ভিন্ন। নিস্পন্দ বিন্দুর উভয় পাশে কণার দশা বিভিন্ন।
5. একটি পূর্ণ কম্পনের ভিতর কখনও মাধ্যমের সকল কণাগুলি স্থির অবস্থাতে আসে না।	5. একটি পূর্ণ কম্পনে দুবার মাধ্যমের সকল কণাগুলি একসঙ্গে স্থির অবস্থাতে আসে।
6. চলতরঙ্গে শক্তি এক অঞ্চল থেকে অন্য অঞ্চলে বাহিত হয়।	6. স্থানু তরঙ্গে এক অঞ্চলের শক্তি সেই অঞ্চলেই আবদ্ধ থাকে।
7. মাধ্যমের মোট শক্তি সর্বদা আংশিক গতিশক্তি ও আংশিক স্থিতিশক্তি। মোট শক্তি সংরক্ষিত থাকে।	7. মাধ্যমের মোট শক্তি পর্যায়ক্রমে গতিশক্তি ও স্থিতিশক্তিতে রূপান্তরিত হয়। মোট শক্তি সংরক্ষিত থাকে।

3.7. স্বরকম্প (Beats) :

একই প্রাবল্যের দুটি শব্দতরঙ্গের মধ্যে কম্পাঙ্কের সামান্য তফাত থাকলে তারা একসঙ্গে মিলে যে শব্দ সৃষ্টি করে তার প্রাবল্যের পর্যায়ক্রমে হ্রাসবৃদ্ধি হতে থাকে। তখন তা স্বরকম্প বলে অভিহিত হয়।

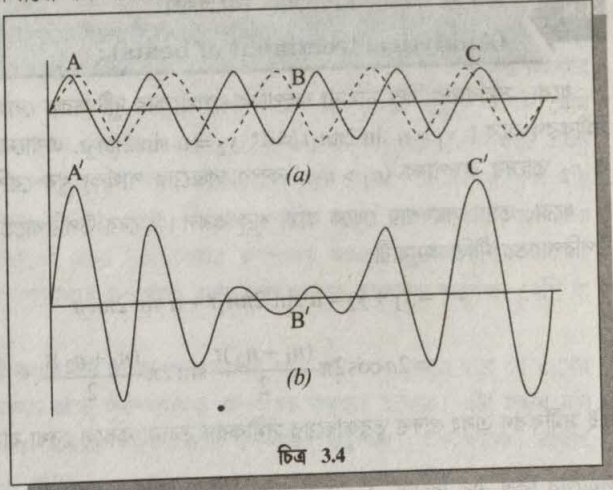
সংজ্ঞা : দুটি উৎস থেকে একই দিকে গতিশীল শব্দতরঙ্গের কম্পাঙ্ক সামান্য প্রভেদ থাকলে তাদের উপরিপাতের ফলে মাধ্যমের নির্দিষ্ট এক বিন্দুতে কম্পনের বিস্তার তথা প্রাবল্য পর্যায়ক্রমে বৃদ্ধি ও হ্রাস পায়। শব্দের প্রাবল্যের এরূপ হ্রাসবৃদ্ধিকে স্বরকম্প বলা হয়।

পরীক্ষা : ফাঁপা কাঠের বাজের উপর বসানো দুটি একই রকমের সুরশলাকা নাও। এখন, একটি একটি করে সুরশলাকা দুটিকে আঘাত করে শব্দ উৎপন্ন করো। দেখবে প্রত্যেক ক্ষেত্রেই একই রকম শব্দ হচ্ছে। এখন একসঙ্গে দুটিকে আঘাত করে শব্দ উৎপন্ন করো। এবারও শব্দ একটানা হবে কিন্তু পূর্বাপেক্ষা জোরালো হবে। এখন, একটি সুরশলাকার বাহুতে কিছু মোম লাগিয়ে ভারী করো। এতে সুরশলাকা দুটির কম্পাঙ্কের কিছু তফাত হবে। এবার উভয়কে একসঙ্গে আঘাত করে শব্দ উৎপন্ন করলে দেখা যাবে যে শব্দ একটানা হচ্ছে না। শব্দ পর্যায়ক্রমে একবার বাড়ছে এবং একবার কমছে। শব্দের প্রাবল্যের এরূপ পর্যায়ক্রমে হ্রাসবৃদ্ধি (waxing and waning) হলে ঐ ঘটনাকে স্বরকম্প বলা হয়। হ্রাসবৃদ্ধির একটি সম্পূর্ণ পর্যায়কে একটি স্বরকম্পন বলা হয়।

● **ব্যাখ্যা (Explanation) :** মনে করো, আমরা দুটি শব্দ উৎস নিলাম যাদের কম্পাঙ্ক যথাক্রমে ছয় এবং পাঁচ। প্রথমটি বায়ুমাধ্যমে প্রতি সেকেন্ডে ছয়টি এবং দ্বিতীয়টি পাঁচটি তরঙ্গের সৃষ্টি করবে। ঐ তরঙ্গ দুটির প্রতিকৃতি 3.4(a) নং চিত্রে দেখানো হল। মোটা লাইন দিয়ে ছয়টি তরঙ্গের এবং কাটা লাইন দিয়ে পাঁচটি তরঙ্গের প্রতিকৃতি দেখানো হয়েছে। ঐ তরঙ্গদ্বয় পরস্পরের উপর আপতিত হয়ে যে লম্ব তরঙ্গ সৃষ্টি করবে তা 3.4(b) নং চিত্রে দেখানো হয়েছে।

যদি মনে করা যায় যে, কোনো মুহূর্তে দুটি তরঙ্গের দশা এক অর্থাৎ উভয়েই শ্রোতার কানে ঘনীভবন বা তনুভবন প্রেরণ করে তবে শ্রোতা জোর শব্দ শুনতে পাবে। 3.4(b) নং চিত্রে A বিন্দু দ্বারা ঐ অবস্থা প্রকাশ করা হয়েছে। ঐ স্থানে লম্ব তরঙ্গের বিস্তার সর্বাপেক্ষা বেশি। 1 সেকেন্ড পরে প্রথম উৎসের তরঙ্গ দ্বিতীয়টির তুলনায় একটি পূর্ণ তরঙ্গে অগ্রসর হবে এবং তাদের দশা পুনরায় সমান হবে। তখন তারা আবার জোর শব্দ উৎপন্ন করবে। চিত্রে C বিন্দু দ্বারা এই অবস্থা প্রকাশিত হয়েছে। কিন্তু $\frac{1}{2}$ সেকেন্ড পরে প্রথম উৎসের তরঙ্গ দ্বিতীয়টির তুলনায় অর্ধ-তরঙ্গে অগ্রসর থাকবে। তখন তাদের দশা হবে সম্পূর্ণ বিপরীত—অর্থাৎ একটির ঘনীভবন অপরটির তনুভবনে আপতিত হবে। এতে শব্দের প্রাবল্য হ্রাস পাবে অথবা ক্ষীণ শব্দ শোনা যাবে। চিত্রে B' বিন্দু এই অবস্থা প্রকাশ করছে—ঐ স্থানে তরঙ্গের বিস্তার সর্বাপেক্ষা কম।

এভাবে যত সময় যাবে তত শব্দের প্রাবল্যের পর্যায়ক্রমে হ্রাসবৃদ্ধি হবে এবং শ্রোতা একটি কম্পিত শব্দ (throbbing sound) শুনতে পাবে।



চিত্র 3.4

● **স্বরকম্পের সংখ্যা (Beat frequency) :** এক সেকেন্ডে যে-কয়বার প্রবল অথবা মৃদু শব্দ শোনা যায় সেই সংখ্যাকে স্বরকম্পের সংখ্যা বলে। পূর্বের আলোচনা থেকে দেখা গেল যে উৎস দুটির কম্পাঙ্ক পাঁচ ও ছয় (কম্পাঙ্কের পার্থক্য = 1) হলে তারা প্রতি সেকেন্ডে একটি প্রবল বা একটি মৃদু শব্দ উৎপন্ন করে। এক্ষেত্রে স্বরকম্পের সংখ্যা 1 ; এটা উৎসদ্বয়ের কম্পাঙ্কের পার্থক্যের সমান। প্রকৃতপক্ষে, সর্বক্ষেত্রে প্রমাণ করা যায় (অনুচ্ছেদ 3.8 দ্রষ্টব্য) **স্বরকম্পের সংখ্যা = উৎসদ্বয়ের কম্পাঙ্কের পার্থক্য**। সাধারণভাবে বলা যায় যে উৎসদ্বয়ের কম্পাঙ্ক n_1 এবং n_2 হলে, ($n_1 > n_2$) স্বরকম্পের সংখ্যা $N = n_1 - n_2$ ।

● **স্বরকম্প উপলব্ধি (Perception of beats) :** স্বরকম্প উপলব্ধি করতে হলে উৎসদ্বয়ের কম্পাঙ্কের পার্থক্য কম হওয়া প্রয়োজন। পার্থক্য বেশি হলে প্রতি সেকেন্ডে উৎপন্ন স্বরকম্পের সংখ্যা বেশি হয়। তখন শব্দের প্রাবল্যের হ্রাসবৃদ্ধি এত দ্রুত হারে হয় যে কানে শুনে তা উপলব্ধি করা যায় না—কানে একটানা শব্দ শোনা যায়। পরীক্ষা করে দেখা গেছে যে স্বরকম্পের সংখ্যা প্রতি সেকেন্ডে 15 কিংবা 16-এর বেশি হলে কানে তা উপলব্ধি করা সম্ভব হয় না। তাছাড়া, উৎসদ্বয়ের শব্দের প্রাবল্য অসমান হলেও স্বরকম্প উপলব্ধি করা কঠিন হয়ে পড়ে, কারণ, এই অবস্থায় ক্ষীণতর শব্দের প্রভাবে জোরালো শব্দের প্রাবল্যের বিশেষ হ্রাসবৃদ্ধি ঘটে না।

সুতরাং স্বরকম্প শ্রুতিবোধ্য হতে গেলে দুটি শর্ত প্রয়োজন : (i) উৎসদ্বয়ের কম্পাঙ্কের পার্থক্য কম (প্রতি সেকেন্ডে 16-এর কম) হতে হবে এবং (ii) উৎসদ্বয়ের শব্দের প্রাবল্য সমান বা প্রায় সমান হতে হবে।

3.8.

স্বরকম্পের গাণিতিক বিশ্লেষণ

(Analytical treatment of beats) :

ধরো, সমবিস্তার কিন্তু সামান্য কম্পাঙ্ক-পার্থক্যের দুটি সরল দোলতরঙ্গ একই দিকে চলছে। তাদের সমীকরণ হবে : $y_1 = a \sin 2\pi n_1 t$ এবং $y_2 = a \sin 2\pi n_2 t$ । এখানে a = তরঙ্গদ্বয়ের বিস্তার এবং n_1 ও n_2 তাদের কম্পাঙ্ক ($n_1 > n_2$)। কম্পাঙ্কদ্বয়ের পার্থক্য খুব বেশি নয়।

ধরো, তারা সমদশায় থেকে যাত্রা শুরু করল। তাদের উপরিপাতে যে লব্ধ সরণ হবে তা y ধরলে, উপরিপাতের নীতি অনুযায়ী,

$$\begin{aligned} y &= y_1 + y_2 = a \sin 2\pi n_1 t + a \sin 2\pi n_2 t \\ &= 2a \cos 2\pi \frac{(n_1 - n_2)t}{2} \sin 2\pi \frac{(n_1 + n_2)t}{2} \end{aligned}$$

এই সমীকরণ এবং প্রদত্ত তরঙ্গদ্বয়ের সমীকরণ তুলনা করলে দেখা যায় যে, লব্ধ তরঙ্গ সরল দোলগতি

পর্যায়ের কিন্তু এর বিস্তার $A = 2a \cos 2\pi \frac{(n_1 - n_2)t}{2}$ এবং কম্পাঙ্ক $= \frac{n_1 + n_2}{2}$; বিস্তার A সময়ের

(t) সাথে পরিবর্তনশীল। অতএব, যত সময় অতিবাহিত হবে, লব্ধ তরঙ্গের বিস্তার A তত পরিবর্তিত হবে। কখন কখন এই বিস্তার সর্বাধিক হবে, কখনও বা সর্বনিম্ন হবে। এর ফলে শব্দের হ্রাসবৃদ্ধি হবে এবং একটি কম্পিত শব্দ শোনা যাবে। তাকেই স্বরকম্প বলা হয়।

○ **স্বরকম্পের সংখ্যা :** যখন $t = 0, \frac{1}{n_1 - n_2}, \frac{2}{n_1 - n_2}, \dots$ ইত্যাদি তখন লব্ধ তরঙ্গের বিস্তার A সর্বাধিক ($= 2a$) হয়ে প্রবল শব্দ সৃষ্টি করবে কারণ শব্দের তীব্রতা বিস্তারের বর্গের সমানুপাতিক। অতএব,

পরপর দুটি প্রবল শব্দ শোনার ভিতর অবকাশ $= \frac{1}{n_1 - n_2}$ সেকেন্ড অথবা 1 সেকেন্ড সময়ে $(n_1 - n_2)$ বার প্রবল শব্দ শোনা যাবে। অতএব স্বরকম্পের সংখ্যা $= n_1 - n_2 =$ উৎসদ্বয়ের কম্পাঙ্কের পার্থক্য।

আবার যখন $t = \frac{1}{2(n_1 - n_2)}, \frac{3}{2(n_1 - n_2)}, \frac{5}{2(n_1 - n_2)}$ ইত্যাদি তখন লব্ধ তরঙ্গের বিস্তার A শূন্য হবে এবং নিঃশব্দের সৃষ্টি করবে। অতএব, পরপর দুটি নিঃশব্দের অবকাশ $\frac{1}{n_1 - n_2}$ সেকেন্ড অথবা 1 সেকেন্ড সময়ে $(n_1 - n_2)$ বার নিঃশব্দ সৃষ্টি হবে। অতএব, স্বরকম্পের সংখ্যা $= n_1 - n_2 =$ উৎসদ্বয়ের কম্পাঙ্কের পার্থক্য।

[দ্রঃ তরঙ্গ দুটির বিস্তার সমান না হলে, একবার প্রবল শব্দ এবং একবার ক্ষীণ শব্দ সৃষ্টি হবে, কখনও নিঃশব্দ সৃষ্টি হবে না। a এবং b তরঙ্গদ্বয়ের বিস্তার হলে লব্ধ তরঙ্গের সর্বাধিক বিস্তার হবে $(a + b)$ এবং সর্বনিম্ন বিস্তার হবে $(a - b)$ ।]

লক্ষ করো যে, ব্যতিচার ও স্বরকম্প উভয়ই দুটি তরঙ্গের উপরিপাতের ফলে সৃষ্টি হয়। কিন্তু এদের প্রকৃতি এক নয়। ব্যতিচারে দুই তরঙ্গের কম্পন-দশার পার্থক্য উৎস থেকে দূরত্বের পার্থক্যের ফলে সৃষ্টি হয় কিন্তু সময়ের সঙ্গে পরিবর্তিত হয় না। স্বরকম্পে কম্পাঙ্কের বিভিন্নতার ফলে দশাপার্থক্য সময়ের সঙ্গে সর্বদাই পরিবর্তিত হয়। ফলে মাধ্যমের কোনো অঞ্চলেই কম্পনহীন অবস্থার সৃষ্টি হয় না।

3.9. স্বরকম্পের প্রয়োগ (Applications of beats):

(ক) অজ্ঞাত কম্পাঙ্ক নির্ণয় (Determination of unknown frequency): দুটি সুরশলাকা স্বরকম্প উৎপন্ন করলে এবং তাদের মধ্যে একটির কম্পাঙ্ক জানা থাকলে অপরটির কম্পাঙ্ক নির্ধারণ করা যায়। ধরো, জানা সুরশলাকার কম্পাঙ্ক 256 এবং উভয়ে একসঙ্গে কম্পিত হয়ে প্রতি সেকেন্ডে 4টি স্বরকম্প উৎপন্ন করছে। এক্ষেত্রে অজ্ঞাত সুরশলাকা কম্পাঙ্ক $= 256 + 4 = 260$ অথবা, $256 - 4 = 252$ হতে পারে। কারণ উভয়ের কম্পাঙ্কের পার্থক্য হবে স্বরকম্পের সংখ্যা। এখন, অজ্ঞাত সুরশলাকার কম্পাঙ্ক কোন্টি—260 অথবা 252—তা নির্ণয় করতে হলে জানা সুরশলাকার বাহুতে একটু মোম লাগাতে হবে। এতে ঐ সুরশলাকার কম্পাঙ্ক একটু কমে যাবে—256 থাকবে না। কারণ, শলাকাটি একটু ভারী হবে। এই অবস্থায় পুনরায় স্বরকম্পের সংখ্যা নির্ণয় করতে হবে। যদি স্বরকম্পের সংখ্যা বৃদ্ধি পায় তবে বুঝতে হবে তাদের কম্পাঙ্কের পার্থক্য বেড়ে গিয়েছে, অথচ জানা সুরশলাকার কম্পাঙ্ক কমানো হয়েছে। এটা সম্ভব যদি গোড়াতেই জানা সুরশলাকার কম্পাঙ্ক অজ্ঞাত সুরশলাকার কম্পাঙ্ক অপেক্ষা কম থাকে। অর্থাৎ অজ্ঞাত সুরশলাকার কম্পাঙ্ক অন্য সুরশলাকার কম্পাঙ্ক অপেক্ষা বেশি বা তা 260।

আর যদি জানা সুরশলাকাকে ভারী করার পর স্বরকম্পের সংখ্যা কমে যায় তবে বুঝতে হবে যে তাদের কম্পাঙ্কের পার্থক্য হ্রাস পেয়েছে, অথচ জ্ঞাত সুরশলাকার কম্পাঙ্ক কমানো হয়েছে। এটা সম্ভব যদি গোড়াতেই জানা সুরশলাকার কম্পাঙ্ক অজ্ঞাত সুরশলাকার কম্পাঙ্ক অপেক্ষা বেশি থাকে। অর্থাৎ এক্ষেত্রে অজ্ঞাত সুরশলাকার কম্পাঙ্ক 252।

(খ) খনিতে দূষিত গ্যাসের অস্তিত্ব নির্ণয় (Detection of poisonous gases in mines): স্বরকম্পের সাহায্যে খনি বা খাদের বায়ু দূষিত বাষ্পপূর্ণ হয়েছে কিনা তা বোঝার একটি সহজ পদ্ধতি আছে। যে খনির বায়ু সন্দেহজনক বলে মনে হয় তার ভিতরে দুটি একই ধরনের আর্গন নল কর্তৃক শব্দ উৎপন্ন করা হয়। একটি নল খনির বায়ুর দ্বারা পূর্ণ এবং অন্যটি বাইরে থেকে আনা বিশুদ্ধ বায়ু দ্বারা পূর্ণ। এখন, খনির বায়ু বিশুদ্ধ না হলে তার ঘনত্ব আলাদা হবে এবং তার ভিতর শব্দের বেগও আলাদা হবে। ফলে, দুই নল থেকে উৎপন্ন শব্দের কম্পাঙ্কের সামান্য তফাত থাকবে। এতে স্বরকম্পের সৃষ্টি হবে। আর যদি খনির বায়ু বিশুদ্ধ হয় তবে ঐ শব্দ দুটির ভিতর কম্পাঙ্কের কোনো পার্থক্য থাকবে না; অতএব কোনো স্বরকম্পেরও সৃষ্টি হবে না। স্বরকম্পের সৃষ্টি হলে বুঝতে হবে খাদের বায়ু বিশুদ্ধ নয়।

□ EXAMPLES □

1. A এবং B দুটি সুরশলাকা একসঙ্গে কম্পিত হলে সেকেন্ডে 4টি স্বরকম্প উৎপন্ন হয়। B-এর কম্পাঙ্ক 510; এখন A সুরশলাকাতে একটু মোম লাগানো হল। এতে স্বরকম্পের সংখ্যা হল 6; A সুরশলাকার কম্পাঙ্ক কত ছিল:

উঃ। যেহেতু A এবং B সেকেন্ডে 4টি স্বরকম্প উৎপন্ন করে কাজেই A শলাকার কম্পাঙ্ক $= 510 + 4 = 514$ অথবা $510 - 4 = 506$ ।

এখন A সুরশলাকাতে মোম লাগানের ফলে, এটি একটু ভারী হবে এবং এর কম্পাঙ্ক সামান্য হ্রাস পাবে; যদি A-এর কম্পাঙ্ক 514 হয় তবে কম্পাঙ্ক হ্রাস পেয়ে B-এর কম্পাঙ্ক 510-এর কাছাকাছি আসবে। এতে স্বরকম্পের সংখ্যা হ্রাস পাবে। পরীক্ষালব্ধ ফলাফল একে সমর্থন করে না। সুতরাং গোড়াতে A-র কম্পাঙ্ক ছিল 506। এই কম্পাঙ্ক হ্রাস পাবার ফলে B-এর সাথে কম্পাঙ্ক-পার্থক্য বৃদ্ধি পাবে এবং স্বরকম্পের সংখ্যাও বৃদ্ধি পাবে।

2. দুটি শব্দতরঙ্গের তরঙ্গদৈর্ঘ্য যথাক্রমে $\frac{80}{195}$ m এবং $\frac{80}{193}$ m; প্রত্যেকটি তরঙ্গ তৃতীয় একটি স্থির কম্পাঙ্কের শব্দতরঙ্গের সাথে প্রতি সেকেন্ডে 4টি স্বরকম্প সৃষ্টি করে। বায়ুতে শব্দের বেগ নির্ণয় করো।

উঃ। ধরো, তরঙ্গ দুটির কম্পাঙ্ক n_1 এবং n_2 । তাহলে,

$$n_1 = \frac{V}{\lambda_1} = \frac{V \times 195}{80} \text{ এবং } n_2 = \frac{V}{\lambda_2} = \frac{193 \times V}{80}; \dots (i) \quad \text{স্পষ্টত, } n_1 > n_2$$

তৃতীয় তরঙ্গের স্থির কম্পাঙ্ক n ধরলে, পাই, $n_1 - n = 4$ এবং $n - n_2 = 4$

$$\text{যোগ করলে, } n_1 - n_2 = 4 + 4 = 8 \dots (ii)$$

(i) নং সমীকরণ থেকে n_1 এবং n_2 -এর মান (ii) নং সমীকরণে বসালে,

$$\frac{V \times 195}{80} - \frac{V \times 193}{80} = 8 \text{ অথবা, } \frac{2V}{80} = 8$$

$$\therefore V = 320 \text{ m/s.}$$

3. সুরশলাকা P-কর্তৃক উৎপন্ন শব্দ PRQ এবং PSQ দুই পথ হয়ে Q-তে পৌঁছায়। PSQ পথের দৈর্ঘ্য PRQ-এর দৈর্ঘ্য অপেক্ষা 11.5 cm বেশি হলে Q-তে কোনো শব্দ শোনা যায় না। ঐ পথপার্থক্য 23 cm হলে Q-তে শব্দের প্রাবল্য উর্ধ্বতম হয়। আবার দৈর্ঘ্যের পার্থক্য 34.5 cm হলে, Q-তে শব্দহীনতা অনুভূত হয়। শব্দের গতিবেগ 331.2 m/s হলে সুরশলাকার কম্পাঙ্ক নির্ণয় করো। [Jt. Entrance 1981]

উঃ। পথ-পার্থক্য 11.5 cm হলে শব্দহীনতা এবং 23 cm হলে উর্ধ্বতম শব্দ প্রাবল্য অনুভূত হয়। অতএব, একটি শব্দহীনতা বিন্দু এবং পরবর্তী উর্ধ্বতম শব্দ-প্রাবল্য বিন্দুর ভিতর পথ-পার্থক্য = 11.5 cm।

আবার প্রথম উর্ধ্বতম শব্দ প্রাবল্য এবং পরবর্তী শব্দহীনতা বিন্দুদ্বয়ের ভিতর পথ পার্থক্য $= 34.5 - 23 = 11.5 \text{ cm}$

সুতরাং, দুটি পরপর শব্দহীনতা বিন্দুর ভিতর পথ-পার্থক্য $= 11.5 + 11.5 = 23 \text{ cm}$

ব্যাতিচারের শর্ত অনুযায়ী দুটি পরপর শব্দহীনতা বিন্দুর ভিতর পথ-পার্থক্য $= \lambda$ [λ = শব্দের তরঙ্গদৈর্ঘ্য]

$$\therefore \lambda = 23 \text{ cm} = 0.23 \text{ m}$$

এখন, সুরশলাকার কম্পাঙ্ক n হলে, $n = \frac{V}{\lambda} = \frac{331.2}{0.23} = 1440 \text{ Hz}$

4. $n+x$, n এবং $n-x$ এই তিন প্রকার কম্পাঙ্ক যুক্ত তিনটি সুরশলাকাকে একসঙ্গে কম্পিত করা হল। এদের বিস্তার সমান ধরে নিয়ে প্রমাণ করো যে এরা প্রতি সেকেন্ডে x সংখ্যক স্বরকম্প উৎপন্ন করবে।

উঃ। সুরশলাকাগুলির কম্পন বিস্তার সমান হওয়ায় এরা যে তরঙ্গ সৃষ্টি করে, তাদের নিম্নলিখিতরূপে প্রকাশ করা যায় :

$$y_1 = a \sin 2\pi(n+x)t$$

$$y_2 = a \sin 2\pi nt$$

$$\text{এবং } y_3 = a \sin 2\pi(n-x)t$$

এই তরঙ্গগুলির উপরিপাতে যে লব্ধ তরঙ্গ উৎপন্ন হবে তাকে নিম্নবর্ণিত উপায়ে লেখা যায় :

$$\begin{aligned} y &= y_1 + y_2 + y_3 = a[\sin 2\pi(n+x)t + \sin 2\pi nt + \sin 2\pi(n-x)t] \\ &= a \left[2 \sin \frac{2\pi(n+x)t + 2\pi(n-x)t}{2} \cdot \cos \frac{2\pi(n+x)t - 2\pi(n-x)t}{2} + \sin 2\pi nt \right] \\ &= a [2 \sin 2\pi nt \cos 2\pi xt + \sin 2\pi nt] \\ &= a [(1 + 2 \cos 2\pi xt) \sin 2\pi nt] \\ &= A \sin 2\pi nt \quad [A = a(1 + 2 \cos 2\pi xt) \text{ ধরা হলো}] \end{aligned}$$

এটি সরল দোলতরঙ্গের সমীকরণ যে-তরঙ্গের বিস্তার A ; এই বিস্তার যে-কোনো বিন্দুতে (অর্থাৎ $x = \text{ধ্রুবক}$) সময় t -এর উপর নির্ভর করে। তার অর্থ এই যে, সময়ের পরিবর্তনের সঙ্গে কোনো বিন্দুতে লব্ধ তরঙ্গের বিস্তার অথবা প্রাবল্য (intensity) পরিবর্তিত হয় এবং সেই সঙ্গে স্বরকম্পের উৎপত্তি হয়।

এখন, A সর্বোচ্চ মান পাবে যখন $\cos 2\pi xt$ সর্বোচ্চ হবে অর্থাৎ যখন $\cos 2\pi xt = 1$ অথবা $2\pi xt = 2S\pi$ যেখানে $S = 0, 1, 2, \dots$ ইত্যাদি।

এ থেকে জানা যায় যে যখন $t = 0, \frac{1}{x}, \frac{2}{x}, \frac{3}{x}$ ইত্যাদি তখন প্রবল শব্দ শোনা যাবে। কাজেই, প্রতি সেকেন্ডে স্বরকম্পের সংখ্যা $= x$ ।

আবার, A সর্বনিম্ন মান পাবে যখন $2 \cos 2\pi xt + 1 = 0$ হবে অর্থাৎ $\cos 2\pi xt = -\frac{1}{2}$ হবে অথবা $2\pi xt = 2S\pi \pm 2\pi/3$ হবে; $[\cos 2\pi/3 = -\frac{1}{2}]$

এথেকে পাই, যখন $t = \frac{1}{3x}, \frac{4}{3x}, \frac{7}{3x}, \dots$ ইত্যাদি তখন ক্ষীণ শব্দ শোনা যাবে। কাজেই প্রতি

$$\text{সেকেন্ডে স্বরকম্পের সংখ্যা} = \frac{1}{\left(\frac{4}{3x} - \frac{1}{3x}\right)} = x.$$

5. 64টি সুরশলাকা ক্রমবর্ধমান কম্পাঙ্ক হিসাবে পরপর সাজানো আছে। শেষেরটির কম্পাঙ্ক প্রথমটি অপেক্ষা দ্বিগুণ এবং যে-কোনো পরপর দুটি শলাকা প্রতি সেকেন্ডে 4টি স্বরকম্প তৈরি করে। প্রথম সুরশলাকার কম্পাঙ্ক কত?

উঃ। ধরো, প্রথম সুরশলাকার কম্পাঙ্ক $= n$ ।

যেহেতু পর পর দুটি সুরশলাকা প্রতি সেকেন্ডে 4টি স্বরকম্প তৈরি করে এবং সুরশলাকাগুলি

ক্রমবর্ধমান কম্পাঙ্ক হিসাবে সাজানো আছে, অতএব, দ্বিতীয় সুরশলাকার কম্পাঙ্ক $= n + 1 \times 4$;
তৃতীয়টির $= n + 2 \times 4$ ইত্যাদি। এই হিসাবে সর্বশেষ সুরশলাকার কম্পাঙ্ক $= n + 63 \times 4$ ।
প্রশ্নানুযায়ী, $2n = n + 63 \times 4$ ।

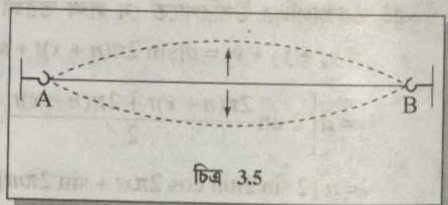
$$\therefore n = 63 \times 4 = 252.$$

3.10. টানা দেওয়া বা প্রসারিত তারে তির্যক স্থাণুতরঙ্গ

(Transverse standing waves in a stretched string):

দুই প্রান্ত দৃঢ়ভাবে আবদ্ধ একটি প্রসারিত তারের মধ্যস্থল, তারের দৈর্ঘ্যের সমকোণে টেনে ছেড়ে দিলে তারে তির্যক কম্পন সৃষ্টি হবে এবং তার বরাবর দুই প্রান্তের দিকে তির্যক তরঙ্গ প্রবাহিত হবে। তারের টান T এবং প্রতি একক দৈর্ঘ্যে ভর m (রৈখিক ঘনত্ব) হলে, প্রমাণ করা যায় যে তার বরাবর

এই তির্যক তরঙ্গের গতিবেগ $V = \sqrt{\frac{T}{m}}$ । এই তরঙ্গদ্বয়



বন্ধপ্রান্ত কর্তৃক প্রতিফলিত হয়ে পুনরায় বিপরীত দিক থেকে অগ্রসর হয়ে মাঝ বরাবর পরস্পরকে অতিক্রম করে এবং পুনরায় বন্ধপ্রান্ত কর্তৃক প্রতিফলিত হয়।

এরূপ দুটি একই ধরনের তির্যক তরঙ্গ বিপরীত

দিক থেকে এসে উপরিপন্ন হবার ফলে তারে স্থাণুতরঙ্গের উদ্ভব হয় এবং তারটি কাঁপতে থাকে। তারের দুই প্রান্ত দৃঢ়ভাবে আবদ্ধ থাকায় এ বিন্দুদ্বয় সর্বদা স্পন্দনহীন অথবা তারা নিস্পন্দ বিন্দু। যদি তারের মধ্যস্থলে একটি সুস্পন্দ বিন্দু থাকে অর্থাৎ তার একযোগে উপরে-নীচে ওঠানামা করে (3.5 নং চিত্র) তবে এরূপ কম্পনে যে-সুর নির্গত হয় তাকে তারের মূলসুর (fundamental tone) বলে।

আমরা জানি দুটি পরপর নিস্পন্দ বিন্দুর অন্তর্বর্তী দূরত্ব $= \lambda/2$ । সুতরাং AB তারের দৈর্ঘ্য l হলে, মূলসুরের বেলায় $l = \lambda/2$ অথবা, $\lambda = 2l$ ।

$$\text{এখন, মূলসুরের কম্পাঙ্ক } n \text{ হলে, } n = \frac{V}{\lambda} = \frac{1}{2l} \cdot \sqrt{\frac{T}{m}} \dots \dots (i)$$

এই প্রসঙ্গে মনে রাখতে হবে যে সি.জি.এস. পদ্ধতিতে l cm, T dyne এবং m g/cm এককে এবং এম্. কে. এস. পদ্ধতিতে l metre, m kg/m এবং T newton এককে প্রকাশ করতে হবে।

আবার, একক দৈর্ঘ্যের তারের প্রস্থচ্ছেদের ব্যাসার্ধ r হলে এবং তারের উপাদানের ঘনত্ব ρ হলে $m = \pi r^2 \times l \times \rho$; [চিত্র 3.5]।

$$\therefore n = \frac{1}{2l} \cdot \sqrt{\frac{T}{\pi r^2 \rho}} = \frac{1}{2lr} \sqrt{\frac{T}{\pi \rho}} \dots \dots (ii)$$

3.11. প্রসারিত তারে তির্যক কম্পনের সূত্রাবলি

(Laws of transverse vibrations of a stretched string):

দুই প্রান্তে আবদ্ধ তারে তির্যক কম্পন উৎপন্ন করলে যে মূলসুর সৃষ্টি হয় তার কম্পাঙ্ক নিম্নলিখিত সূত্রগুলি দ্বারা নিয়ন্ত্রিত হয়। ফরাসি গণিতজ্ঞ মার্সেন (Marsenne) 1636 খ্রিস্টাব্দে এই সূত্রগুলি আবিষ্কার করেন।

(i) দৈর্ঘ্যের সূত্র (Law of length): কম্পমান তারের টান (T) ও প্রতি একক দৈর্ঘ্যের ভর (m) অপরিবর্তিত থাকলে, তারের তির্যক কম্পনের কম্পাঙ্ক তারের দৈর্ঘ্যের ব্যস্তানুপাতে পরিবর্তিত হয়। T ও m অপরিবর্তিত থাকলে, $n \propto \frac{1}{l}$ ।

(ii) টানের সূত্র (Law of tension) : কম্পমান তারের দৈর্ঘ্য (l) ও প্রতি একক দৈর্ঘ্যের ভর (m) অপরিবর্তিত থাকলে তারে তির্যক কম্পনের কম্পাঙ্ক টানের বর্গমূলের সমানুপাতে পরিবর্তিত হয়। l ও m অপরিবর্তিত থাকলে, $n \propto \sqrt{T}$ ।

(iii) ভরের সূত্র (Law of mass) : কোনো কম্পনশীল তারের টান (T) ও দৈর্ঘ্য (l) পরিবর্তন না করলে তির্যক কম্পনের কম্পাঙ্ক প্রতি একক দৈর্ঘ্যের ভরের বর্গমূলের ব্যস্তানুপাতে পরিবর্তিত হয়। T ও l অপরিবর্তিত থাকলে, $n \propto \frac{1}{\sqrt{m}}$ ।

পূর্বে তিনটি সূত্রকে তারের তির্যক কম্পনের সূত্র বলা হয়। লক্ষ করলে দেখা যাবে, উক্ত সূত্রগুলি

মূলসূত্রের কম্পাঙ্কের সমীকরণ $\left(n = \frac{1}{2l} \sqrt{\frac{T}{m}}\right)$ থেকে পাওয়া যায়।

[3.10 অনুচ্ছেদের (ii) নং সমীকরণ থেকে তারের তির্যক কম্পনের আরও দুটি সূত্র পাওয়া যায়। যথা :

(i) কম্পমান তারের দৈর্ঘ্য ও ঘনত্ব অপরিবর্তিত থাকলে, তারে তির্যক কম্পনের কম্পাঙ্ক তারের ব্যাসার্ধের ব্যস্তানুপাতে পরিবর্তিত হয়। l, T ও ρ অপরিবর্তিত থাকলে, $n \propto \frac{1}{r}$; একে বলা হয় ব্যাসার্ধের সূত্র (law of radius)।

(ii) কম্পমান তারের দৈর্ঘ্য, টান ও ব্যাসার্ধ অপরিবর্তিত থাকলে, তারের তির্যক কম্পনের কম্পাঙ্ক তারের উপাদানের ঘনত্বের বর্গমূলের ব্যস্তানুপাতে পরিবর্তিত হয়। l, T ও r অপরিবর্তিত থাকলে, $n \propto \frac{1}{\sqrt{\rho}}$; একে বলা হয় ঘনত্বের সূত্র (law of density)।

একথা মনে রাখা দরকার যে, তারের তির্যক কম্পনের সূত্র বলতে মার্সেন আবিষ্কৃত প্রথম তিনটি সূত্রই বোঝায়।]

□ EXAMPLES □

1. 50 cm দীর্ঘ একটি তার প্রতি সেকেন্ডে 100 বার কম্পিত হয়। যদি দৈর্ঘ্য হ্রাস পেয়ে 40 cm হয় এবং টানা দেওয়া ভার চারগুণ করা হয়, তবে কম্পাঙ্ক কত হবে?

উঃ। ধরো প্রথমবার তারের টান T newton; তাহলে, $100 = \frac{1}{2 \times 0.5} \sqrt{\frac{T}{m}}$ [m = তারের প্রতি একক দৈর্ঘ্যের ভর]। যখন টান চারগুণ করা হল তখন টান $4T$ newton হল। সেক্ষেত্রে,

$$n = \frac{1}{2 \times 0.4} \sqrt{\frac{4T}{m}} = \frac{1}{0.4} \sqrt{\frac{T}{m}} \quad \text{ভাগ দিলে,} \quad \frac{n}{100} = \frac{2 \times 0.5}{0.4} \quad \therefore n = \frac{2 \times 0.5 \times 100}{0.4} = 250.$$

2. একটি তার 150 কম্পাঙ্কযুক্ত সুর উৎপন্ন করে। যদি ঐ তারের টান 9 : 16 অনুপাতে বৃদ্ধি করা হয় এবং দৈর্ঘ্য দ্বিগুণ করা হয় তবে ঐ তার কত কম্পাঙ্কের সুর সৃষ্টি করবে?

উঃ। মনে করো, প্রথম ক্ষেত্রে তারের দৈর্ঘ্য ও টান যথাক্রমে l_1 এবং T_1 । দ্বিতীয় ক্ষেত্রে অনুরূপভাবে, ধরা যাক, তারের দৈর্ঘ্য ও টান যথাক্রমে l_2 এবং T_2 ।

$$\text{প্রথম ক্ষেত্রে, } 150 = \frac{1}{2l_1} \sqrt{\frac{T_1}{m}} \quad \text{এবং দ্বিতীয় ক্ষেত্রে, } n = \frac{1}{2l_2} \sqrt{\frac{T_2}{m}}$$

$$\text{ভাগ দিলে আমরা পাই, } \frac{n}{150} = \frac{l_1}{l_2} \sqrt{\frac{T_2}{T_1}}; \quad \text{প্রশ্নানুযায়ী, } l_1 : l_2 = 1 : 2 \quad \text{এবং } T_2 : T_1 = 16 : 9$$

কাজেই, $\frac{n}{150} = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{16}{9}} = \frac{4}{2 \times 3} \therefore n = \frac{4 \times 150}{2 \times 3} = 100$.

3. 100 g ভরের ছোটো বস্তু 50 cm দীর্ঘ একটি সুতোর একপ্রান্তে আবদ্ধ অবস্থায় একটি মসৃণ টেবিলের উপর বৃত্তাকার পথে সেকেন্ডে 250 cm বেগে ঘুরছে। সুতোর অপর প্রান্তে ঐ বস্তুর কেন্দ্রে আবদ্ধ আছে। সুতোর ভর 5 mg/cm হলে সুতোর ভিতর তির্যক তরঙ্গের বেগ এবং মূলসুরের কম্পাঙ্ক নির্ণয় করো।

উঃ। সুতোয় তির্যক তরঙ্গের গতিবেগ $V = \sqrt{\frac{T}{m}}$

এখানে, $T =$ বস্তুর উপর ক্রিয়ারত অভিকেন্দ্র বল $= \frac{mv^2}{r} = \frac{100 \times (250)^2}{50} = 125 \times 10^3$ dyne

এবং সুতোর একক দৈর্ঘ্যের ভর $m = 5 \text{ mg/cm} = 5 \times 10^{-3} \text{ g/cm} \therefore V = \sqrt{\frac{125 \times 10^3}{5 \times 10^{-3}}} \text{ cm/s}$

$= 50 \text{ m/s}$ আবার, মূলসুরের কম্পাঙ্ক $n = \frac{1}{2l} \sqrt{\frac{T}{m}} = \frac{1}{2 \times 50} \times 5 \times 10^3 = 50 \text{ Hz}$.

4. দুটি সমদৈর্ঘ্যের ইম্পাত-তার 225 g এবং 256 g ভর দ্বারা টান রাখলে মূলসুর উৎপন্ন করে। মূলসুরদ্বয়ের কম্পাঙ্কের অনুপাত 1 : 4; তার দুটির ব্যাসের অনুপাত নির্ণয় করো।

উঃ। মূলসুরের কম্পাঙ্ক, $n = \frac{1}{2l} \sqrt{\frac{T}{\pi \rho}} = \frac{1}{l.d} \sqrt{\frac{T}{\pi \rho}}$ [$d =$ তারের ব্যাস $= 2r$]

তার দুটি দৈর্ঘ্যে সমান এবং উভয়েই ইম্পাতের তৈরি হওয়ায় ঘনত্বও সমান। যদি তাদের ব্যাস যথাক্রমে d_1 এবং d_2 হয় তবে প্রথম তারের বেলাতে, $n_1 = \frac{1}{ld_1} \sqrt{\frac{225}{\pi \rho}}$ এবং দ্বিতীয় তারের বেলাতে

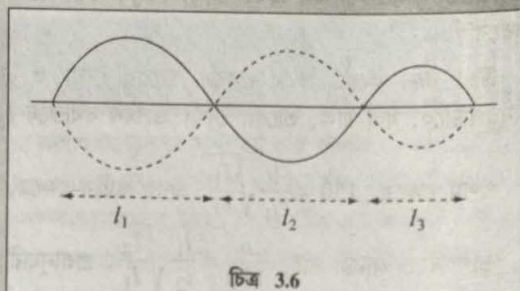
$n_2 = \frac{1}{ld_2} \sqrt{\frac{256}{\pi \rho}}$; ভাগ দিলে, $\frac{n_1}{n_2} = \frac{d_2}{d_1} \sqrt{\frac{225}{256}} = \frac{d_2}{d_1} \times \frac{15}{16}$.

প্রশ্নানুযায়ী, $n_1 : n_2 = 1 : 4$; কাজেই, $\frac{1}{4} = \frac{d_2}{d_1} \times \frac{15}{16}$, বা $\frac{d_1}{d_2} = \frac{15}{4}$.

5. দুই প্রান্তে আবদ্ধ একটি তারের দৈর্ঘ্য 1.1 m। দুটি সেতু (bridge)-কে কীরূপ দূরত্বে রেখে তারকে তিন অংশে বিভক্ত করবে যাতে ঐ তিন অংশের মূল কম্পাঙ্কের অনুপাত 1 : 2 : 3 হয়?

উঃ। ধরো, তিন অংশের দৈর্ঘ্য যথাক্রমে l_1, l_2, l_3 । তাহলে, $l_1 + l_2 + l_3 = 1.1 \dots (i)$

টান এবং তারের একক দৈর্ঘ্যের ভর অপরিবর্তিত থাকলে, মূলসুরের কম্পাঙ্ক $n \propto \frac{1}{l}$;



চিত্র 3.6

অতএব, $n_1 l_1 = n_2 l_2 = n_3 l_3$ অথবা, $l_1 : l_2 : l_3 = \frac{1}{n_1} : \frac{1}{n_2} : \frac{1}{n_3} = \frac{1}{1} : \frac{1}{2} : \frac{1}{3} = 6 : 3 : 2$

$\therefore l_1 = 6k ; l_2 = 3k$ এবং $l_3 = 2k$ [k = একটি ধ্রুবক]

(i) সমীকরণ থেকে পাই, $6k + 3k + 2k = 1.1$ অথবা $k = 0.1$; অতএব, $l_1 = 0.6 \text{ m} ; l_2 = 0.3 \text{ m}$ এবং $l_3 = 0.2 \text{ m}$

যে-কোনো প্রান্ত থেকে প্রথম সেতুর দূরত্ব = 0.6 m এবং দ্বিতীয় সেতুর দূরত্ব = $0.6 + 0.3 = 0.9 \text{ m}$.

6. একটি তারের রৈখিক ভর ঘনত্ব $5 \times 10^{-3} \text{ kg/m}$ । তারটিকে দুটি দৃঢ় অবলম্বনের ভিতর 450 N বলে টান করা আছে। তারটি 420 Hz কম্পাঙ্কের সাথে সমসুর। তারটি এর ঠিক পরবর্তী উচ্চতর কম্পাঙ্ক 490 Hz -এর সাথেও সমসুর হয়। তারটির দৈর্ঘ্য নির্ণয় করো।

উঃ। ধর, তারটির কম্পনের n th সম্মেল 420 Hz -এর সাথে এবং $(n+1)$ th সম্মেল 490 Hz -এর সাথে অনুনাদ করে। তাহলে,

$$420 = \frac{n}{2l} \sqrt{\frac{T}{m}} \text{ এবং } 490 = \frac{n+1}{2l} \sqrt{\frac{T}{m}}$$

$$\text{ভাগ দিলে } \frac{490}{420} = \frac{n+1}{n} \text{ অথবা } n = 6$$

$$\text{প্রথম সমীকরণে } n\text{-এর মান বসালে পাই } 420 = \frac{6}{2l} \sqrt{\frac{T}{m}} = \frac{6}{2l} \sqrt{\frac{450}{5 \times 10^{-3}}} = \frac{900}{l}$$

$$\therefore l = \frac{900}{420} \text{ m} = 2.1 \text{ m}$$

7. একটি উল্লম্ব তারের একপ্রান্তে কিছু ভর চাপানো আছে। 60 cm দীর্ঘ তারকে তির্যক কম্পনে কম্পিত করলে তা একটি সুরশলাকার সাথে সমসুর হয়। তারে আরও 10 g ভর চাপালে শলাকার সঙ্গে অনুনাদ করার জন্য তারের দৈর্ঘ্য 2 cm বাড়াতে হয়। তারে প্রারম্ভিক ভর কত ছিল?

উঃ। ধর, প্রথমবার তারে $M \text{ kg}$ ভর চাপানো ছিল। তারের কম্পাঙ্ক যদি n হয়, তবে,

$$n = \frac{1}{2l} \sqrt{\frac{T}{m}} = \frac{1}{2 \times 0.6} \sqrt{\frac{M \cdot g}{m}} \dots\dots(i)$$

দ্বিতীয়বার যখন তারের ভর এবং দৈর্ঘ্য বৃদ্ধি করা হল, কম্পাঙ্ক একই থাকল। অতএব,

$$n = \frac{1}{2 \times 0.62} \sqrt{\frac{(M+0.01)g}{m}} \dots\dots(ii)$$

(i) নং এবং (ii) নং সমীকরণ থেকে পাই,

$$\frac{1}{2 \times 0.6} \sqrt{\frac{M \cdot g}{m}} = \frac{1}{2 \times 0.62} \sqrt{\frac{(M+0.01)g}{m}} \text{ অথবা, } \frac{62}{60} = \sqrt{\frac{M+0.01}{M}}$$

$$\text{বর্গ নিলে, } \frac{3844}{3600} = \frac{M+0.01}{M} \therefore M = 0.14754 \text{ kg} = 147.54 \text{ g.}$$

৪. একটি তারের দৈর্ঘ্য স্থির রেখে টান 44% বৃদ্ধি করলে মূলসুরের কম্পাঙ্ক 6 Hz বৃদ্ধি পায়। টান স্থির রেখে তারের দৈর্ঘ্য 20% বৃদ্ধি করা হলে, কম্পাঙ্কের পরিবর্তন হিসাব করো।

উঃ। তির্যক কম্পনে তারের মূলসুরের কম্পাঙ্ক $n = \frac{1}{2l} \sqrt{\frac{T}{m}} \dots \dots (i)$

প্রাথমিক টান = T হলে, 44% বৃদ্ধির পর টান হবে $T' = T + 0.44T = 1.44T$;

টান বৃদ্ধিতে কম্পাঙ্ক 6 Hz বৃদ্ধি পায় বলে এবার, $n + 6 = \frac{1}{2l} \sqrt{\frac{1.44T}{m}} \dots \dots (ii)$

(ii) নং সমীকরণকে (i) দ্বারা ভাগ করলে পাই, $\frac{n+6}{n} = \sqrt{1.44}$ অথবা, $\frac{n+6}{n} = 1.2$
 $\therefore n = 30$

আবার, দৈর্ঘ্য 20% বৃদ্ধির পর দৈর্ঘ্য হবে, $l' = 1.2l$; এক্ষেত্রে কম্পাঙ্ক n' হলে পাই,

$$n' = \frac{1}{1.2l} \sqrt{\frac{T}{m}} \dots \dots (iii)$$

(iii) নং-কে (i) নং সমীকরণ দ্বারা ভাগ করলে পাই, $\frac{n'}{n} = \frac{1}{1.2}$ অথবা, $n' = \frac{n}{1.2} = \frac{30}{1.2} = 25$

অতএব, কম্পাঙ্কের পরিবর্তন $= n - n' = 30 - 25 = 5 \text{ Hz}$.

৭. 200 কম্পাঙ্কযুক্ত সুরশলাকা একটি টান করা তারের সাথে সমসূর। তারের টান 1% বৃদ্ধি করলে, কয়টি স্বরকম্প শোনা যাবে?

উঃ। অন্যান্য বিষয় অপরিবর্তিত থাকলে, টান করা তারের কম্পাঙ্ক টানের বর্গমূলের সমানুপাতিক হয়। প্রথমে তারের টান T এবং পরে $(T + T/100)$ । তখনকার কম্পাঙ্ক n_1 এবং n_2 হলে,

অতএব, $\frac{n_2}{200} = \sqrt{\frac{T + T/100}{T}} = \sqrt{1 + \frac{1}{100}} = \sqrt{1.01} \therefore n_2 = 201$ (প্রায়)

স্বরকম্পের সংখ্যা $= 201 - 200 = 1$ প্রতি সেকেন্ডে।

3.12. টান করা তারে বিভিন্ন উপসুর (Overtones in a stretched string):

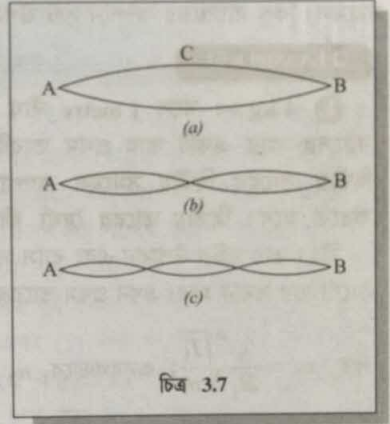
3.10 অনুচ্ছেদে বলা হয়েছে দুই প্রান্ত (A এবং B) দৃঢ়ভাবে আবদ্ধ টান করা তারের মধ্যস্থলে (c বিন্দু) তারের দৈর্ঘ্যের সমকোণে টেনে ছেড়ে দিলে তারটি একযোগে উপর নীচ গুঁঠানামা করে [3.7

(a) নং চিত্র]। এই অবস্থায় তারের দৈর্ঘ্য $l = \frac{\lambda_1}{2}$ এবং $n_1 = \frac{1}{2l} \sqrt{\frac{T}{m}}$ । এরূপ স্পন্দন ছাড়া তার বিভিন্ন বৃত্তাংশে (segment) বা লুপে (loop) বিভক্ত হয়ে বিভিন্ন রূপে স্পন্দিত হতে পারে। যদি তারের মধ্যস্থল স্পর্শ করে যে-কোনো প্রান্ত থেকে তারের দৈর্ঘ্যের এক চতুর্থাংশ দূরে তারকে টোকা (pluck) দেওয়া যায় তবে তার দুই বৃত্তাংশ বা দুটি লুপে বিভক্ত হয়ে কম্পিত হবে [3.7 (b)]। এই অবস্থায় তারের দৈর্ঘ্য l

$= \lambda_2$ এবং $n_2 = \frac{2}{2l} \sqrt{\frac{T}{m}} = 2n_1$. এরূপ, যে-কোনো প্রান্ত থেকে তারের দৈর্ঘ্যের এক তৃতীয়াংশ দূরে

তারকে সামান্য স্পর্শ করে (অর্থাৎ, ঐস্থানে একটি নিস্পন্দ বিন্দুর সৃষ্টি করে) প্রান্তবিন্দু এবং ঐ বিন্দুর মধ্যস্থলে তারকে টোকা দিলে তারটি তিন বৃত্তাংশে বা লুপে বিভক্ত হয়ে কম্পিত হবে [3.7 (c) নং চিত্র]। তখন $l = \frac{3\lambda_3}{2}$ এবং

$n_3 = \frac{3}{2l} \sqrt{\frac{T}{m}} = 3n_1$. এরূপে তারের বিভিন্ন বিন্দুতে নিস্পন্দ বিন্দু সৃষ্টি করে তারকে যথোপযুক্ত স্থানে আঘাত করলে চার, পাঁচ, ছয় ইত্যাদি লুপে বিভক্ত হয়ে তার স্পন্দিত হবে। সাধারণভাবে তার যদি S বৃত্তাংশে বা লুপে বিভক্ত হয়ে কম্পিত হয়, তবে $n_s = \frac{S}{2l} \sqrt{\frac{T}{m}} = S.n_1 \dots (i)$



চিত্র 3.7

একে বলা হয় S th সম্মেল অথবা $(S - 1)$ th উপসুর।

● উপসুর ও সম্মেল :

তার যদি একযোগে গুঁটা-নামা করে—অর্থাৎ একটি বৃত্তাংশে স্পন্দিত হয় তাহলে যে সুর নির্গত হয় তাকে মূলসুর বলে। তার একাধিক বৃত্তাংশে স্পন্দিত হলে ঐ সুরগুলিকে বলা হয় উপসুর (overtones)। উপসুরের মধ্যে যেগুলির কম্পাঙ্ক মূলসুরের কম্পাঙ্কের সরল গুণিতক তাদের বলা হয় সম্মেল (harmonics)।

চিত্র 3.7(a) থেকে দেখা যায় যে তার একযোগে গুঁটানামা করছে এবং ঐ অবস্থায় তার কম্পাঙ্ক সর্বাপেক্ষা কম। সুতরাং ঐ অবস্থায় মূলসুর বা প্রথম সম্মেল (first harmonic) নির্গত হবে। দ্বিতীয় চিত্র 3.7(b) থেকে দেখা যাচ্ছে, তার দুই বৃত্তাংশে বিভক্ত হয়ে কম্পিত হচ্ছে। তখন তারের দৈর্ঘ্য তরঙ্গের দৈর্ঘ্যের সমান—অর্থাৎ ঐ সুরের কম্পাঙ্ক মূলসুরের কম্পাঙ্কের দ্বিগুণ। এই কারণে ঐ সম্মেলকে বলা হয় দ্বিতীয় সম্মেল অথবা প্রথম উপসুর। তৃতীয় ক্ষেত্রে [3.7(c) নং চিত্র] তারের দৈর্ঘ্য তরঙ্গ দৈর্ঘ্যের $\frac{2}{3}$ -র সমান অথবা মূলসুরের তরঙ্গ দৈর্ঘ্যের $\frac{1}{3}$ -র সমান। অতএব, এই সুরের কম্পাঙ্ক মূলসুরের কম্পাঙ্কের তিনগুণ। তাই একে বলা হয় তৃতীয় সম্মেল অথবা দ্বিতীয় উপসুর। এভাবে অন্যান্য উপসুরের কম্পাঙ্ক নির্ণয় করতে হবে।

মূলসুরের পর ক্রমবর্ধমান কম্পাঙ্কের উপসুরগুলিকে ক্রমানুসারে প্রথম উপসুর, দ্বিতীয় উপসুর, তৃতীয় উপসুর ইত্যাদি বলা হয়। উপসুরগুলির মধ্যে কেবলমাত্র যেগুলির কম্পাঙ্ক মূলসুরের সরল গুণিতক, তাদের বলা হয় সম্মেল। সম্মেল সুরের কম্পাঙ্ক মূলসুরের কম্পাঙ্কের দ্বিগুণ, তিনগুণ ইত্যাদি হলে, ঐ উপসুরকে যথাক্রমে দ্বিতীয় সম্মেল, তৃতীয় সম্মেল ইত্যাদি বলা হয়। মনে রাখতে হবে প্রথম সম্মেল বলতে মূলসুরকেই বোঝাবে এবং যে-কোনো পরপর দুটি সম্মেলের মধ্যে এক বা একাধিক উপসুর থাকতে পারে। উদাহরণস্বরূপ ধরো, কোনো বাদ্যযন্ত্রের স্বরে 256, 468, 502, 768, 1020, 1280 প্রভৃতি কম্পাঙ্কের সুর আছে। এক্ষেত্রে 256 কম্পাঙ্কের সুরটি মূলসুর এবং অন্যান্য সবগুলিই উপসুর। কিন্তু 768 এবং 1280 কম্পাঙ্কের সুর দুটি মূলসুরের কম্পাঙ্কের যথাক্রমে তিনগুণ এবং পাঁচগুণ বলে তাদের বলা হবে তৃতীয় সম্মেল এবং পঞ্চম সম্মেল। লক্ষ্য করো যে তৃতীয় এবং পঞ্চম সম্মেলের মধ্যে 1020 কম্পাঙ্কের একটি উপসুর আছে এবং প্রথম সম্মেল অর্থাৎ মূলসুর এবং তৃতীয় সম্মেলের মধ্যে দুটি উপসুর আছে। সুতরাং বলা যায় সব সম্মেলগুলিই উপসুর কিন্তু সব উপসুর সম্মেল নয়।

উপরোক্ত (i) নং সমীকরণ থেকে পাই যে, তারের বিভিন্ন প্রকার কম্পনে উদ্ভূত কম্পাঙ্কগুলির প্রতিটিই মূলসুরের কম্পাঙ্কের সরল গুণিতক। সুতরাং তারের কম্পনে সৃষ্টি উপসুরগুলির প্রত্যেকটিই এক একটি সম্মেল। কিন্তু বায়ুস্তরের কম্পনে সৃষ্টি উপসুরগুলি তা নয় [3.22 এবং 3.23 অনুচ্ছেদ দ্রষ্টব্য]।

□ EXAMPLE □

1. 4 kg wt বলে 1 metre দীর্ঘ একটি তার টান করা আছে। একই উপাদান এবং ব্যাসের আর একটি তার প্রথম তারটির পাশে 16 kg wt বলে টান করে খাটানো আছে। দ্বিতীয় তারের দ্বিতীয় সম্মেল কম্পাঙ্ক প্রথম তারের পঞ্চম সম্মেল কম্পাঙ্কের সমান করতে হবে। দ্বিতীয় তারের দৈর্ঘ্য কী হবে?

উঃ। তার দুটির উপাদান এবং ব্যাস সমান হওয়ায়, তাদের রৈখিক ঘনত্ব (m) অথবা প্রতি একক দৈর্ঘ্যে ভর সমান হবে। এখন প্রথম তারের টান T_1 , দৈর্ঘ্য l_1 এবং পঞ্চম সম্মেল কম্পাঙ্ক n_5 ধরলে

পাই, $n_5 = \frac{5}{2l_1} \sqrt{\frac{T_1}{m}}$; অনুরূপভাবে, n_2 দ্বিতীয় তারের দ্বিতীয় সম্মেল কম্পাঙ্ক, T_2 টান এবং l_2

দৈর্ঘ্য ধরলে পাই, $n_2 = \frac{2}{2l_2} \sqrt{\frac{T_2}{m}} = \frac{1}{l_2} \sqrt{\frac{T_2}{m}}$.

যেহেতু $n_5 = n_2$ সেহেতু $\frac{1}{l_2} \sqrt{\frac{T_2}{m}} = \frac{5}{2l_1} \sqrt{\frac{T_1}{m}}$ অথবা, $\frac{\sqrt{T_2}}{l_2} = \frac{5\sqrt{T_1}}{2 \times l_1}$

অথবা, $5 \times l_2 \times \sqrt{T_1} = 2 \times l_1 \sqrt{T_2}$

∴ $5 \times l_2 \times \sqrt{4} = 2 \times 100 \times \sqrt{16}$

অথবা, $l_2 = 80 \text{ cm}$.

তারে তির্যক ও অনুদৈর্ঘ্য তরঙ্গবেগের তুলনা

3.13. (Comparison between transverse and longitudinal waves in a wire) :

1.3 অনুচ্ছেদে দেখা গেছে যে তারে অনুদৈর্ঘ্য তরঙ্গবেগ $V_L = \sqrt{\frac{Y}{\rho}}$

আবার, 3.10 অনুচ্ছেদে দেখেছি যে টান করা তারে তির্যক তরঙ্গের বেগ $V_T = \sqrt{\frac{T}{m}}$

তারের প্রস্থচ্ছেদ α হলে, $m = \alpha \cdot \rho$; কাজেই $V_T = \sqrt{\frac{T}{\alpha \cdot \rho}}$

$$\therefore \frac{V_L}{V_T} = \sqrt{\frac{Y}{\rho} \times \frac{\alpha \cdot \rho}{T}} = \sqrt{\frac{Y \cdot \alpha}{T}}$$

ধর, তারের দৈর্ঘ্য $= l$ এবং টানের ফলে তারের দৈর্ঘ্যবৃদ্ধি $= \Delta l$; তাহলে,

$$Y = \frac{T}{\alpha} \div \frac{\Delta l}{l} = \frac{T \cdot l}{\alpha \cdot \Delta l}; \text{ অতএব, } \frac{V_L}{V_T} = \sqrt{\frac{\alpha}{T} \cdot \frac{T \cdot l}{\alpha \cdot \Delta l}} = \sqrt{\frac{l}{\Delta l}}$$

যেহেতু $\Delta l \ll l$, তাই $V_T \ll V_L$

আমরা সিদ্ধান্ত করতে পারি যে-কোনো নির্দিষ্ট টানে, V_T সর্বদা V_L অপেক্ষা কম হবে।

বায়ুস্তম্ভের কম্পন (Vibration of air column)

 3.14. বায়ুস্তম্ভে অনুদৈর্ঘ্য স্থাণুতরঙ্গ
(Longitudinal standing waves in air columns):

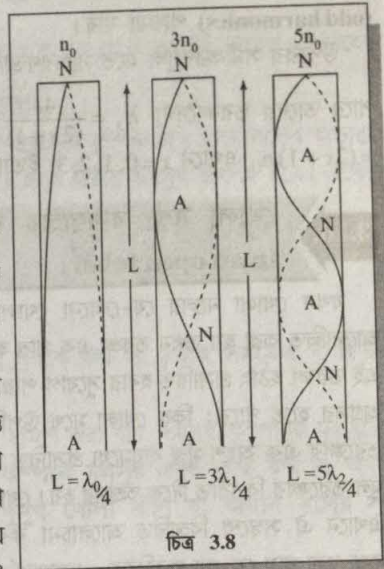
কাচের শিশির মুখে ফুঁ দিলে বা চাবির খোলা মুখে ফুঁ দিলে সুমিষ্ট শব্দ নির্গত হয় তা তোমরা জান। বাড়িতে পূজোর সময় শীথে ফুঁ দিয়ে সুমিষ্ট শব্দ সৃষ্টি করা হয় তাও তোমরা দেখেছ। এথেকে প্রমাণ হয় কোনো আবদ্ধ বায়ুস্তম্ভকে বিচলিত করা হলে, ঐ বায়ুস্তম্ভে অনুদৈর্ঘ্য তরঙ্গের উপরিপাতে স্থাণুতরঙ্গের সৃষ্টি হয় ও কম্পনশীল বায়ুস্তম্ভ হতে শ্রুতিসুখকর শব্দের উদ্ভব হয়। নানাপ্রকার নলাকৃতি বাদ্যযন্ত্রে বায়ুস্তম্ভের এই কম্পনকে কাজে লাগানো হয়। এই শব্দের কম্পাঙ্ক বায়ুস্তম্ভের দৈর্ঘ্যের উপর নির্ভর করে। কম্পন সৃষ্টি করার জন্য সাধারণত দুই প্রকার নল ব্যবহার করা হয়—(1) দুমুখ খোলা, যাকে বলা হয় খোলা নল বা open pipe এবং (2) একমুখ বন্ধ ও একমুখ খোলা, যার নাম বন্ধ নল বা closed pipe। নিম্নে দুই প্রকার নলে বায়ুস্তম্ভের কম্পনের প্রকৃতি ও নিঃসৃত শব্দের কম্পাঙ্ক সম্বন্ধে আলোচনা করা হল। মনে রাখতে হবে যে নলে আবদ্ধ বায়ুস্তম্ভে কেবলমাত্র অনুদৈর্ঘ্য তরঙ্গ সৃষ্টি হতে পারে।

 3.15. বন্ধ নলে বায়ুস্তম্ভের কম্পন
(Vibrations of air column in a closed pipe):

যখন বন্ধ নলের খোলামুখে অর্থাৎ A মুখে (3.8 নং চিত্রে) ফুঁ দেওয়া হয় (অথবা কম্পমান সুরশলাকা ধরা হয়) তখন একটি অনুদৈর্ঘ্য তরঙ্গ বায়ুস্তম্ভের ভিতর দিয়ে বন্ধ মুখ অর্থাৎ N মুখের দিকে অগ্রসর হয় এবং বন্ধ দেওয়াল কর্তৃক প্রতিফলিত হয়ে (প্রকৃতি অপরিবর্তিত রেখে অর্থাৎ তনুভবন তনুভবনরূপে এবং ঘনীভবন ঘনীভবন রূপে) পুনরায় A-মুখের দিকে অগ্রসর হয়। ইতিমধ্যে আর একটি নূতন তরঙ্গ আবার N-মুখের দিকে অগ্রসর হলে দুটি বিপরীতগামী তরঙ্গ একে আর একের উপর আপতিত হয়ে স্থাণুতরঙ্গের সৃষ্টি করে। এতে সুরের উৎপত্তি হয়। স্থাণুতরঙ্গের দৈর্ঘ্য আলাদা হলে সুরের তীক্ষ্ণতা বা কম্পাঙ্ক আলাদা হয়। যতক্ষণ পর্যন্ত ফুঁ দেওয়া হতে থাকে অথবা সুরশলাকার কম্পন হতে থাকে ততক্ষণ পর্যন্ত ঐ সুরের উৎপত্তি হয়।

[তারে তির্যক তরঙ্গ কর্তৃক সৃষ্ট স্থাণুতরঙ্গের (চিত্র 3.1) সাথে নলে অনুদৈর্ঘ্য তরঙ্গ কর্তৃক সৃষ্ট স্থাণুতরঙ্গের তুলনা খুবই সুবিধাজনক। উভয় ক্ষেত্রেই নিস্পন্দ ও সুস্পন্দ বিন্দুদ্বয়ের দূরত্ব তরঙ্গদৈর্ঘ্যের এক-চতুর্থাংশ। চিত্রের দ্বারা অনুদৈর্ঘ্য তরঙ্গ প্রকাশ অসুবিধাজনক বলে সাধারণত প্রতীক হিসাবে তাদের তির্যক তরঙ্গচিত্র দ্বারা প্রকাশ করা হয়। 3.8 এবং 3.9 চিত্রে তাই করা হয়েছে।]

নলের N মুখ বন্ধ থাকায় ঐ স্থানের বায়ুকণা স্পন্দনক্ষম নয়। সুতরাং ঐ স্থানে সর্বদাই একটি নিস্পন্দ বিন্দুর উৎপত্তি হবে। আবার, A মুখ খোলা থাকায় ঐ স্থানের বায়ুকণা স্পন্দনের সর্বাধিক সুবিধা পায়। এই কারণে খোলা মুখে সর্বদাই একটি সুস্পন্দ বিন্দু উৎপন্ন হবে। এই অবস্থায় যে স্থাণুতরঙ্গ পাওয়া যায় তা সর্বাপেক্ষা সহজতম তরঙ্গ এবং



তাতে যে সুরের উৎপত্তি হয় তাকে মূলসুর বা প্রথম সম্মেলন বলে। 3.8 নং চিত্রে প্রথম নলে এই সহজতম স্থাণুতরঙ্গ দেখানো হয়েছে।

[চিত্রে কাটা লাইন দ্বারা প্রতিফলিত তরঙ্গ এবং টানা লাইন দ্বারা আপতিত তরঙ্গ বোঝানো হয়েছে।]

সহজতম স্থাণুতরঙ্গের দৈর্ঘ্য λ_0 হলে নিম্পন্দ ও সুস্পন্দ বিন্দুর ভিতর ন্যূনতম ব্যবধান হয় $\frac{\lambda_0}{4}$

এবং এক্ষেত্রে তা নলের দৈর্ঘ্য l -এর সমান। সুতরাং, $l = NA = \frac{\lambda_0}{4}$ অথবা, $\lambda_0 = 4l$

মূলসুরের কম্পাঙ্ক n_0 ও শব্দের বেগ V ধরা হলে, $V = n_0 \lambda_0 = n_0 \cdot 4l$ অথবা, $n_0 = \frac{V}{4l}$

এই সুর হবে নলের সম্ভাব্য সকল সুরের মধ্যে খাদের সুর। এর তরঙ্গদৈর্ঘ্য সর্বাপেক্ষা বেশি এবং কম্পাঙ্ক সর্বাপেক্ষা কম।

● **বন্ধ নলে উপসুর (Overtones in a closed pipe):** টান করা তার যেমন বিভিন্ন লুপে কম্পিত হয় একাধিক উপসুর সৃষ্টি করতে পারে (3.12 অনুচ্ছেদ) নলের ক্ষেত্রেও তেমনি উপসুর সৃষ্টি সম্ভব। যদি নলের খোলা মুখে আরও জোরে ফুঁ দেওয়া হয় তবে নলের বায়ুস্তম্ভে উৎপন্ন স্থাণুতরঙ্গের দৈর্ঘ্য পরিবর্তিত হবে এবং চড়া সুরের শব্দ নিঃসৃত হবে। নলের বৃদ্ধপ্রান্তের নিম্পন্দ বিন্দু ও মুক্ত প্রান্তের সুস্পন্দ বিন্দুর মধ্যে যথাক্রমে একটি সুস্পন্দ ও একটি নিম্পন্দ বিন্দু থাকতে পারে (3.8 নং চিত্রের দ্বিতীয় নল)। এই

অবস্থায় বায়ুস্তম্ভে যে স্থাণুতরঙ্গ সৃষ্টি হয় তার দৈর্ঘ্য λ_1 ধরলে $l = \frac{3\lambda_1}{4}$ অথবা, $\lambda_1 = \frac{4l}{3}$ । এই সুরের

কম্পাঙ্ক n_1 হলে $V = n_1 \lambda_1 = n_1 \frac{4l}{3} \therefore n_1 = \frac{3V}{4l} = 3n_0$; এই সুরের কম্পাঙ্ক মূলসুরের কম্পাঙ্কের

তিনগুণ বলে একে খোলা নলের তৃতীয় সম্মেলন বলা হয়। আবার, ক্রমানুসারে মূলসুরের ঠিক পরের সুর হওয়ায় একে প্রথম উপসুরও বলা হয়।

খোলামুখে আরও জোরে ফুঁ দিলে (অর্থাৎ বায়ুস্তম্ভের উপর চাপ নিয়ন্ত্রণ করে) আরও যে উপসুরের উৎপত্তি হবে উপরিউক্ত উপায়ে প্রমাণ করা যায় যে তাদের কম্পাঙ্ক মূলসুরের কম্পাঙ্কের পাঁচগুণ, সাতগুণ ইত্যাদি হবে। অর্থাৎ ক্রমান্বয়ে পঞ্চম সম্মেলন বা দ্বিতীয় উপসুর, সপ্তম সম্মেলন বা তৃতীয় উপসুর ইত্যাদি পাওয়া যাবে। অতএব বন্ধ নল হতে মূলসুর এবং কেবলমাত্র তার অযুগ্ম সম্মেলনগুলি (odd harmonics) পাওয়া যায়।

উপরের সমীকরণগুলি হতে সাধারণভাবে বলা যায় যে একমুখ বন্ধ নলে যে সকল সুর সৃষ্টি হতে

পারে তাদের তরঙ্গদৈর্ঘ্য $\lambda_x = \frac{4l}{(2x+1)} = \frac{\lambda_0}{(2x+1)}$ । আবার কম্পাঙ্ক $n_x = \frac{V}{\lambda_x} = (2x+1) \frac{V}{4l} = (2x+1)n_0$ এখানে $x=0, 1, 2, 3$, ইত্যাদি যে-কোনো একটি পূর্ণ সংখ্যা।

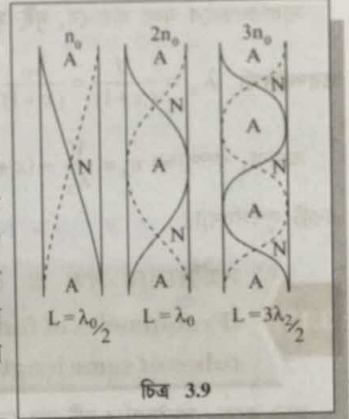
3.16.

খোলা নলে বায়ুস্তম্ভের কম্পন (Vibrations of air column in an open tube):

যখন খোলা নলের যে-কোনো খোলা মুখে ফুঁ দেওয়া হয় বা অন্য কোনো উপায়ে বায়ুস্তম্ভকে আন্দোলিত করা হয় তখন তরঙ্গ এক প্রান্ত হতে অন্য প্রান্তের দিকে অগ্রসর হয়। অন্য প্রান্তে উপস্থিত হলে এই তরঙ্গ হঠাৎ প্রসারিত হবার সুযোগ পায়, কারণ নলের ভিতরে থাকাকালীন তরঙ্গ শুধু সম্মুখের দিকে অগ্রসর হতে পারে; কিন্তু খোলা মুখে উপস্থিত হলে চতুর্দিকে জায়গা পেয়ে হঠাৎ প্রসারিত হয়। ফলে তরঙ্গের এক অংশ মুক্ত বায়ুমধ্যে প্রসারিত হয় এবং অপর অংশ ঐ প্রান্তে প্রতিফলিত হয়ে নলের ভিতর মূল তরঙ্গের বিপরীত দিকে অগ্রসর হয়। খোলামুখে উক্ত প্রতিফলনের প্রক্রিয়া আলোচ্য গভীর বহির্ভূত বলে এখানে ঐ সম্বন্ধে বিস্তারিত আলোচনা করা সম্ভব নয়। প্রতিফলিত তরঙ্গ সম্বন্ধে কেবলমাত্র একটি কথা বলা যায় যে এর প্রকৃতিতে π দশাপার্থক্য ঘটে—অর্থাৎ তনুভবন ঘনীভবনে এবং ঘনীভবন তনুভবন

রূপে প্রতিফলিত হয়। প্রতিফলিত তরঙ্গ ও অগ্রগামী তরঙ্গ একে আর একের উপর আপতিত হয়ে স্থাণুতরঙ্গের সৃষ্টি করে। তাতে সুরের উৎপত্তি হয়। স্থাণুতরঙ্গের দৈর্ঘ্য বিভিন্ন হলে সুরের তীক্ষ্ণতা অথবা কম্পাঙ্ক বিভিন্ন হয়।

নলের দুই মুখই খোলা থাকায় ঐ দুই স্থানের বায়ুকণা স্পন্দনের সর্বাধিক সুবিধা পায়। সুতরাং দুই মুক্তপ্রান্তে দুটি সুস্পন্দ বিন্দু সর্বদা উৎপন্ন হবে। উক্ত দুটি সুস্পন্দ বিন্দুর মধ্যস্থলে একটি নিস্পন্দ বিন্দু থেকে নলে যে স্থাণুতরঙ্গের সৃষ্টি হবে তাই হবে খোলা নলে সর্বাপেক্ষা সহজতম তরঙ্গ। তার ফলে যে সুরের উৎপত্তি হবে (3.9 নং চিত্রের প্রথম নল) তাকে মূলসুর অথবা প্রথম সম্মেল বলা হবে।



চিত্র 3.9

সহজতম স্থাণুতরঙ্গের দৈর্ঘ্য λ_0 হলে দুটি পর পর সুস্পন্দ বিন্দুর ভিতর ন্যূনতম ব্যবধান হয় $\frac{\lambda_0}{2}$ এবং এক্ষেত্রে সেটা নলের দৈর্ঘ্য l -এর সমান। সুতরাং, $l = AA = \frac{\lambda_0}{2}$ অথবা, $\lambda_0 = 2l$ ।

মূলসুরের কম্পাঙ্ক n_0 এবং শব্দের বেগ V হলে $V = n_0 \lambda_0 = n_0 2l$; $n_0 = \frac{V}{2l}$ ।

এই সুর হবে খোলা নলের সম্ভাব্য সকল সুরের মধ্যে সর্বাপেক্ষা খাদের সুর। এর তরঙ্গদৈর্ঘ্য সর্বাপেক্ষা বেশি এবং কম্পাঙ্ক কম। একে প্রথম সম্মেলও বলা হয়।

● **খোলা নলে উপসুর (Overtones in an open tube)** : বন্ধ নলের ন্যায় খোলা নলেও জোরালো ফুঁ দিলে বা প্রবলবেগে বায়ুপ্রবাহ ঘটালে বিভিন্ন চড়া সুরের শব্দ উৎপন্ন হবে। পরবর্তী উপসুর উৎপন্ন করতে গেলে এমনভাবে বায়ুপ্রবাহ ঘটাতে হবে যে দুই খোলামুখে দুটি সুস্পন্দ বিন্দু ছাড়া নলের মধ্যস্থলেও একটি সুস্পন্দ বিন্দু থাকে (3.9 নং চিত্রের দ্বিতীয় নল)। এস্থলে বায়ুস্তম্ভে যে স্থাণুতরঙ্গের উৎপত্তি হয় তার দৈর্ঘ্য λ_1 হলে চিত্র হতে বোঝা যায় যে $\lambda_1 = l$ । এই সুরের কম্পাঙ্ক n_1 ধরলে $V = n_1 \lambda_1 = n_1 l$ ।

$\therefore n_1 = \frac{V}{l} = \frac{2V}{2l} = 2n_0$ অর্থাৎ এর কম্পাঙ্ক মূলসুরের অথবা প্রথম সম্মেল সুরের কম্পাঙ্কের

দ্বিগুণ। অতএব, এটা হবে দ্বিতীয় সম্মেল বা প্রথম উপসুর।

যদি নলে বায়ুপ্রবাহ আরও জোরালো হয় যাতে দুই মুক্তপ্রান্তে দুটি সুস্পন্দ বিন্দু ছাড়া নলের অভ্যন্তরে আরও দুটি সুস্পন্দ বিন্দু থাকে (3.9 নং চিত্রে তৃতীয় নল) তবে দ্বিতীয় উপসুর উৎপন্ন হবে। এক্ষেত্রে

তরঙ্গদৈর্ঘ্য λ_2 ধরলে $l = \frac{3\lambda_2}{2}$ অথবা $\lambda_2 = \frac{2l}{3}$; দ্বিতীয় উপসুরের কম্পাঙ্ক n_2 হলে $V = n_2 \lambda_2 =$

$n_2 \times \frac{2l}{3}$; $\therefore n_2 = \frac{3V}{2l} = 3n_0$ ।

এই কম্পাঙ্ক মূলসুরের কম্পাঙ্কের তিনগুণ। তাই এই সুরকে বলা হয় তৃতীয় সম্মেল বা দ্বিতীয় উপসুর।

এইরূপ অন্যান্য সুরের উৎপত্তি হলে উপরিউক্ত উপায়ে প্রমাণ করা যায়, তাদের কম্পাঙ্ক মূলসুরের চার, পাঁচ, ছয় গুণ ইত্যাদি হবে। সুতরাং খোলা নলের কম্পনে মূলসুর এবং তার যুগ্ম ও অযুগ্ম সকল প্রকার সম্মেল সৃষ্টি করা সম্ভব। এই কারণে দুমুখ খোলা বাঁশি বা অর্গান নলের সুর বন্ধ নলের সুর অপেক্ষা বেশি শ্রুতিমধুর।

সাধারণভাবে বলা যায় যে, দুই মুখ খোলা নলে যে সকল সুর উৎপন্ন হতে পারে তাদের

$$\text{তরঙ্গদৈর্ঘ্য } \lambda_x = \frac{2l}{(x+1)} = \frac{\lambda_0}{(x+1)}$$

অথবা, কম্পাঙ্ক $n_x = \frac{V}{\lambda_x} = (x+1) \cdot \frac{V}{2l} = (x+1)n_0$ এখানে, $x = 0, 1, 2, 3$ ইত্যাদি যে-কোনো

একটি পূর্ণসংখ্যা।

সমদৈর্ঘ্যের বন্ধ ও খোলা নলে মূলসুরের কম্পাঙ্ক

3.17. (Frequencies of fundamental in closed and open tubes of same length) :

মনে করো, সমদৈর্ঘ্যের দুটি নল নেওয়া হল। তাদের একটি বন্ধ নল ও অপরটি খোলা নল। উভয় নলের দৈর্ঘ্য l ; বন্ধ নলে মূলসুরের কম্পাঙ্ক n_0 হলে 3.15 অনুচ্ছেদ অনুযায়ী, $n_0 = \frac{V}{4l}$ ।

আবার, খোলা নলে মূলসুরের কম্পাঙ্ক n'_0 ধরলে, 3.16 অনুচ্ছেদ অনুযায়ী, $n'_0 = \frac{V}{2l}$
 $= 2 \frac{V}{4l} = 2n_0$ ।

অর্থাৎ, সমদৈর্ঘ্যের খোলা নলের মূলসুরের কম্পাঙ্ক বন্ধ নলে মূলসুরের কম্পাঙ্কের দ্বিগুণ অথবা খোলা নলের মূলসুরের তীক্ষ্ণতা সমদৈর্ঘ্যের বন্ধ নলের মূলসুরের তীক্ষ্ণতার এক অষ্টক উর্ধ্বে।

এই কারণে, একটি খোলা নল হতে মূলসুর নির্গত হতে থাকাকালীন যদি হঠাৎ একমুখ বন্ধ করে দেওয়া হয়, তবে ঐ নল বন্ধ নলে পরিণত হবে এবং সুরের তীক্ষ্ণতাও হ্রাস পাবে—অর্থাৎ সুর খাদে নেমে যাবে। অপরপক্ষে, একটি খোলা নলের একমুখ ঢাকনা দিয়ে বন্ধ করে ফুঁ দিতে দিতে যদি হঠাৎ ঢাকনা সরিয়ে নেওয়া হয় তবে সুরের তীক্ষ্ণতা বৃদ্ধি পাবে—অর্থাৎ সুর চড়া হবে।

বায়ুস্তম্ভের কম্পাঙ্কের উপর বায়ুর তাপমাত্রা ও আর্দ্রতার

3.18. প্রভাব (Effect of temperature and humidity on the frequency of air column) :

বন্ধ-নলের মূলসুরের কম্পাঙ্ক $n_0 = \frac{V}{4l}$ এবং খোলা নলে $n_0 = \frac{V}{2l}$; এখন বায়ুতে শব্দের বেগ V বায়ুর তাপমাত্রার উপর নির্ভর করে। তাপমাত্রা বাড়লে শব্দের বেগ বাড়ে; আবার তাপমাত্রা কমলে বেগ কমে যায়। অতএব, বন্ধ এবং খোলা নলে বায়ুস্তম্ভের মূলসুরের কম্পাঙ্ক তাপমাত্রা বৃদ্ধি পেলে বৃদ্ধি পাবে এবং তাপমাত্রা হ্রাসে হ্রাস পাবে।

নলের বায়ুস্তম্ভের আর্দ্রতার উপরও শব্দের বেগ নির্ভর করে। বায়ুর আর্দ্রতা হ্রাসবৃদ্ধিতে শব্দের বেগেরও হ্রাসবৃদ্ধি হয়। সুতরাং বায়ুস্তম্ভের মূলসুরের কম্পাঙ্ক আর্দ্রতা বৃদ্ধি পেলে বৃদ্ধি পাবে অথবা সুর চড়া হবে; আবার আর্দ্রতা কমে গেলে কম্পাঙ্ক কমে যাবে অথবা সুর খাদের হবে।

□ EXAMPLES □

1. দুমুখ খোলা একটি নলের দৈর্ঘ্য সর্বাপেক্ষা কত কম হলে তা 300 কম্পাঙ্কের একটি সুরশলাকার সাথে সমসুর হবে? বায়ুতে শব্দের বেগ $= 330 \text{ ms}^{-1}$ ।

উঃ। সর্বাপেক্ষা কম দৈর্ঘ্যে মূলসুর উৎপন্ন হয়। খোলা নলের বেলায় $n_0 = \frac{V}{2l}$ ।
এক্ষেত্রে, $n_0 = 300$ এবং $V = 330 \text{ ms}^{-1}$ ।

$$\therefore l = \frac{V}{2 \cdot n_0} = \frac{330}{2 \times 300} = 0.55 \text{ m} = 55 \text{ cm}.$$

২. একটি দুমুখ খোলা নলের দৈর্ঘ্য 4 metre। ঐ নলে বায়ুস্তরের কম্পন হলে অষ্টম সমমেলের কম্পাঙ্ক কত হবে? শব্দের গতিবেগ = 356 m/s।

উঃ। দুমুখ খোলা নলের বেলায় মূলসুরের কম্পাঙ্ক $n_0 = \frac{V}{2l} = \frac{356}{2 \times 4}$

আবার, অষ্টম সমমেলের কম্পাঙ্ক n হলে, ঐরূপ নলের বেলায়, $n = 8 \times n_0$

$$\therefore n = \frac{8 \times 356}{2 \times 4} = 356.$$

৩. বায়ুপূর্ণ একটি খোলা অর্গান নলের মূলসুরের কম্পাঙ্ক 500; CO_2 পূর্ণ অপর একটি বন্ধ অর্গান নলের প্রথম উপসুরের কম্পাঙ্ক পূর্বের খোলা অর্গান নলের প্রথম উপসুরের কম্পাঙ্কের সমান। প্রত্যেক নলের দৈর্ঘ্য নির্ণয় করো। বায়ুতে এবং CO_2 গ্যাসে শব্দের গতিবেগ যথাক্রমে 330 m/s এবং 264 ms/.

উঃ। বায়ুপূর্ণ খোলা অর্গান নলের মূলসুরের কম্পাঙ্ক $n_0 = \frac{V_{\text{air}}}{2l}$

$$\therefore l = \frac{V_{\text{air}}}{2n_0} = \frac{330}{2 \times 500} = 0.33 \text{ metre} = 33 \text{ cm}.$$

বায়ুপূর্ণ খোলা অর্গান নলের প্রথম উপসুরের কম্পাঙ্ক $n_1 = 2n_0 = 2 \times 500$

আবার, CO_2 গ্যাস পূর্ণ বন্ধ নলের প্রথম উপসুরের কম্পাঙ্ক $n'_1 = \frac{3V_{\text{CO}_2}}{4l} = \frac{3 \times 264}{4l_1}$

কিন্তু $n_1 = n'_1 \therefore 2 \times 500 = \frac{3 \times 264}{4 \times l_1}$

$$\therefore l_1 = \frac{3 \times 264}{4 \times 2 \times 500} = 0.198 \text{ metre} = 19.8 \text{ cm}.$$

৪. 48 cm দীর্ঘ দুমুখ খোলা একটি অর্গান নলের মূলসুরের কম্পাঙ্ক 320 Hz; বায়ুতে শব্দের বেগ 320 metre/s হলে, নলের ব্যাস নির্ণয় করো। নলের একমুখ বন্ধ করে দিলে, ন্যূনতম কত কম্পাঙ্কে ঐ নল অনুনাদী হবে? [Jt. Entrance 2001]

উঃ। ধরো, নলের ব্যাসার্ধ = r , দুইমুখ খোলা নলের মূলসুরের বেলায় $l + 2x = \lambda/2 = \frac{1}{2} \frac{V}{n}$

[$\therefore V = n\lambda$] [এখানে x = প্রান্তিক ত্রুটি = $0.6r$] [2.7 অনুচ্ছেদ দ্রষ্টব্য]

এক্ষেত্রে $l = 48 \text{ cm}$; $x = 0.6r$; $V = 320 \times 100 \text{ cm/s}$ এবং $n = 320 \text{ Hz}$.

$$\therefore 48 + 2 \times 0.6r = \frac{1}{2} \times \frac{32 \times 10^3}{320} = 50 \text{ অথবা, } r = \frac{5}{3} \text{ cm}.$$

অতএব, নলের ব্যাস = $2r = \frac{10}{3} = 3.33 \text{ cm}.$

আবার, এক মুখ বন্ধ নলের মূলসুরের বেলায়,

$$\lambda = 4(l+x) = 4(l+0.6r) = 4(48 + 0.6 \times \frac{5}{3}) = 4 \times 49 \text{ cm.}$$

$$\therefore \text{কম্পাঙ্ক } n = \frac{V}{\lambda} = \frac{32 \times 10^3}{4 \times 49} = 163.3 \text{ Hz.}$$

৫. দুটি সুরশলাকাকে একসঙ্গে বাজালে ৪টি স্বরকম্পের সৃষ্টি হয়। প্রথম শলাকাটি ৩২ cm দৈর্ঘ্যবিশিষ্ট একমুখ খোলা নলের বায়ুস্তম্ভের সঙ্গে এবং দ্বিতীয় শলাকাটি ৩৩ cm দৈর্ঘ্যবিশিষ্ট এক মুখ খোলা নলের বায়ুস্তম্ভের সঙ্গে অনুনাদ সৃষ্টি করে। সুরশলাকা দুটির কম্পাঙ্ক নির্ণয় করো। [Jt. Entrance 1991]

উঃ। ধরো, সুরশলাকাদ্বয়ের কম্পাঙ্ক n_1 এবং n_2 ($n_1 > n_2$) ; তাহলে $n_1 - n_2 = 8$.

$$\text{প্রথম সুরশলাকার ক্ষেত্রে পাই, } n_1 = \frac{V}{4l_1} = \frac{V}{4 \times 32} \dots\dots (i)$$

$$\text{দ্বিতীয় ,, ,, ,, } n_2 = \frac{V}{4l_2} = \frac{V}{4 \times 33} \dots\dots (ii)$$

$$\therefore n_1 - n_2 = \frac{V}{4} \left(\frac{1}{32} - \frac{1}{33} \right) \text{ অথবা, } 8 = \frac{V}{4} \times \frac{1}{32 \times 33} \therefore V = 32 \times 32 \times 33 \text{ cm/s}$$

$$(i) \text{ নং সমীকরণে বসালে, } n_1 = \frac{32 \times 32 \times 33}{4 \times 32} = 264$$

$$(ii) \text{ নং সমীকরণে বসালে, } n_2 = \frac{32 \times 32 \times 33}{4 \times 33} = 256.$$

৬. 1 metre দীর্ঘ একটি নলের একমুখ বন্ধ। খোলা মুখের সম্মুখে একটি তার টান করে আটকানো আছে। তারটির দৈর্ঘ্য ৩০ cm এবং ভর ১০ g. তারটি তির্যক কম্পনে কম্পিত হয়ে মূলসুর নির্গত করছে এবং নলের বায়ুস্তম্ভে কম্পন সৃষ্টি করছে। তারের কম্পনের মূলসুর বায়ুস্তম্ভের কম্পনের মূলসুরের সাথে অনুনাদ তৈরি করলে, (i) বায়ুস্তম্ভের মূলসুরের কম্পাঙ্ক এবং (ii) তারের টান নির্ণয় করো। বায়ুতে শব্দের গতিবেগ = ৩৩০ m/s.

$$\text{উঃ। তারের তির্যক কম্পনের মূলসুরের বেলায়, } n_0 = \frac{1}{2l} \sqrt{\frac{T}{m}}$$

$$\text{এখানে, } l = 30 \text{ cm ; } m = \frac{10}{30} = \frac{1}{3} \therefore n_0 = \frac{1}{2 \times 30} \sqrt{\frac{T}{\frac{1}{3}}} = \frac{1}{60} \sqrt{3T}$$

$$\text{আবার, বন্ধ নলের মূলসুরের বেলায় } n_0 = \frac{V}{4l} = \frac{330}{4 \times 1} = 82.5$$

$$\text{যেহেতু } n_0 \text{ ও তারের ভিতর অনুনাদ হয়েছে, সেহেতু, } \frac{330}{4} = \frac{1}{60} \sqrt{3T}$$

$$\text{অথবা, } T = 81.7 \times 10^5 \text{ dyne (nearly).}$$

3.19. ডপলার ক্রিয়া (Doppler's effect) :

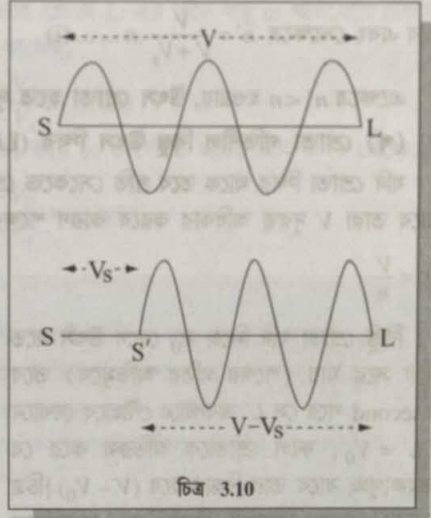
যখন কোনো শব্দের উৎস n -কম্পাঙ্কের সুর উৎপন্ন করে তখন উৎস হতে কিছু দূরে দণ্ডায়মান কোনো শ্রোতা প্রতি সেকেন্ডে n -সংখ্যক তরঙ্গ গ্রহণ করবে, যদি সে এবং উৎস উভয়ই স্থির থাকে; কিন্তু উৎসের গতির দরুনই হোক কিংবা শ্রোতার গতির দরুনই হোক অথবা উভয়ের যুগপৎ গতির দরুনই হোক, উৎস ও শ্রোতার ভিতর যদি আপেক্ষিক গতি থাকে তবে শ্রোতার কানে প্রতি সেকেন্ডে ভিন্ন সংখ্যক

তরঙ্গ পৌঁছাবে অর্থাৎ শ্রুত শব্দের কম্পাঙ্কের পরিবর্তন হবে—শ্রুত শব্দের কম্পাঙ্ক উৎসের কম্পাঙ্কের সমান হবে না। যদি শ্রোতা এবং উৎস পরস্পরের দিকে অগ্রসর হয় তবে শ্রুত শব্দের কম্পাঙ্কের আপাত বৃদ্ধি হয় এবং শ্রোতা ও উৎস পরস্পর হতে দূরে সরে গেলে শ্রুত শব্দের কম্পাঙ্কের আপাত হ্রাস হয়।

শ্রোতা এবং উৎসের ভিতর আপেক্ষিক গতির ফলে কম্পাঙ্কের আপাত পরিবর্তনকে ডপলার ক্রিয়া (Doppler's effect) বলে এবং যে নীতির সাহায্যে ডপলার এই আপাত পরিবর্তন ব্যাখ্যা করেছিলেন তাকে ডপলার নীতি (Doppler's principle) বলা হয়।

রেলওয়ে প্ল্যাটফর্মে দাঁড়িয়ে গতিশীল ট্রেনের বংশীধ্বনি শুনলে শব্দের তীক্ষ্ণতার (pitch) এই পরিবর্তন সহজেই লক্ষ করা যায়। দূর হতে যখন ট্রেন বংশীধ্বনি করতে করতে প্ল্যাটফর্মের দিকে অগ্রসর হয় তখন শব্দের তীক্ষ্ণতা বৃদ্ধি পায় বলে মনে হয়; আবার প্ল্যাটফর্ম ছেড়ে দূরে চলে যাবার সময় মনে হয় শব্দের তীক্ষ্ণতা হ্রাস পাচ্ছে।

ডপলার প্রভাব আলোচনা করতে গিয়ে আমরা নিম্নলিখিত বিষয়গুলি বিবেচনা করব :—(i) উৎস গতিশীল কিন্তু শ্রোতা স্থির, (ii) শ্রোতা গতিশীল কিন্তু উৎস স্থির, (iii) উৎস ও শ্রোতা উভয়ই গতিশীল, (iv) বায়ু প্রবাহের প্রভাব।



চিত্র 3.10

*3.20.

ডপলার প্রভাবের দ্রুত তীক্ষ্ণতার আপাত পরিবর্তনের হিসাব (Calculation of the apparent change of pitch due to Doppler effect) :

(ক) উৎস গতিশীল কিন্তু শ্রোতা স্থির (Source in motion but the listener at rest) :

ধরো, উৎস n কম্পাঙ্কের শব্দ উৎপন্ন করছে এবং শব্দের বেগ V ; উৎস প্রতি সেকেন্ডে n সংখ্যক তরঙ্গ সৃষ্টি করছে। তারা এক সেকেন্ডে V দৈর্ঘ্য অধিকার করবে যদি উৎস (S) স্থির থাকে, কারণ শব্দের বেগ $= V$; এখন, উৎস যদি শ্রোতার দিকে (শব্দের অভিমুখে) V_s গতিবেগে অগ্রসর হয় তবে 1 second পরে উৎস S হতে S' অবস্থানে যাবে এবং $SS' = V_s$ [চিত্র 3.10]। ফলে, প্রতি সেকেন্ডে যে n -সংখ্যক তরঙ্গ উৎপন্ন হচ্ছে তারা $S'L$ স্থানে চাপাচাপি করে অবস্থান করবে কারণ এই তরঙ্গগুলির প্রথমটি 1 s সময়ে S হতে L বিন্দুতে পৌঁছাবে এবং শেষ তরঙ্গটি S' বিন্দুতে থাকবে। অর্থাৎ ঐ n সংখ্যক তরঙ্গ $(V - V_s)$ দৈর্ঘ্য অধিকার করবে। ফলে, তরঙ্গদৈর্ঘ্যের পরিবর্তন হবে। দেখা

যাচ্ছে, উৎসের গতির ফলে, তরঙ্গ-দৈর্ঘ্যের পরিবর্তন হয়। পরিবর্তিত তরঙ্গদৈর্ঘ্য $= \frac{V - V_s}{n}$; শ্রোতা (L)

$$\text{যে শব্দ শুনবে তার আপাত কম্পাঙ্ক } n' = \frac{\text{শব্দের গতিবেগ}}{\text{পরিবর্তিত তরঙ্গদৈর্ঘ্য}} = \frac{V}{(V - V_s)} \cdot n \dots \dots (i)$$

এই সমীকরণ হতে বোঝা যায় যে $n' > n$; অর্থাৎ উৎস শ্রোতার দিকে অগ্রসর হলে, শ্রুত শব্দের তীক্ষ্ণতার আপাত বৃদ্ধি হয়।

যদি উৎস শ্রোতা হতে দূরে সরে যায় (শব্দের অভিমুখের বিপরীত দিকে) তবে V_s নেগেটিভ ধরতে হবে এবং সেক্ষেত্রে $n' = \frac{V}{V + V_s} \cdot n \dots \dots (i)$

এক্ষেত্রে $n' < n$ হওয়ায়, উৎস শ্রোতা হতে দূরে গেলে শ্রুত শব্দের তীক্ষ্ণতার আপাত হ্রাস হয়।

(খ) শ্রোতা গতিশীল কিন্তু উৎস স্থির (Listener in motion but the source at rest) :

যদি শ্রোতা স্থির থাকে তবে প্রতি সেকেন্ডে শ্রোতাকে অতিক্রম করে যে n সংখ্যক তরঙ্গ গুচ্ছ চলে যাবে তারা V দূরত্ব অধিকার করবে কারণ শব্দের বেগ ধরা হয়েছে V ; এক্ষেত্রে শব্দের তরঙ্গদৈর্ঘ্য,

$$\lambda = \frac{V}{n}$$

কিন্তু শ্রোতা যদি নিজে V_0 বেগে উৎস হতে দূরে সরে যায় (শব্দের গতির অভিমুখে) তবে 1 second পরে সে L' অবস্থানে পৌঁছাবে যেখানে $LL' = V_0$; ফলে শ্রোতাকে অতিক্রম করে যে তরঙ্গগুচ্ছ যাবে তার বিস্তার হবে $(V - V_0)$ [চিত্র 3.11]। লক্ষ্য করবার বিষয় যে, তরঙ্গের তরঙ্গদৈর্ঘ্য অপরিবর্তিত থাকছে কিন্তু শ্রোতা কর্তৃক গৃহীত তরঙ্গের সংখ্যা পরিবর্তন করছে। (যেমন, স্থির অবস্থায় শ্রোতা 4টি তরঙ্গ গ্রহণ করলে গতিশীল অবস্থায় সে 3টি তরঙ্গ গ্রহণ করবে)

∴ শব্দের আপাত কম্পাঙ্ক $n' =$

$$\frac{\text{তরঙ্গগুচ্ছের বিস্তার}}{\text{তরঙ্গদৈর্ঘ্য}} = \frac{V - V_0}{\lambda} = \frac{V - V_0}{V} \cdot n \dots$$

(iii)

এখানে, $(V - V_0) < V$ হওয়ায়, $n' < n$ অর্থাৎ শ্রোতা উৎস হতে দূরে সরে গেলে শ্রুত শব্দের তীক্ষ্ণতার আপাত হ্রাস পায়। যদি শ্রোতা উৎসের দিকে গতিশীল হয় (শব্দের গতির লাইন বরাবর)

তবে, V_0 নেগেটিভ ধরতে হবে এবং $n' = \frac{V + V_0}{V} \cdot n \dots (iv)$

এবার $n' > n$ অর্থাৎ শ্রোতা শব্দ-উৎসের দিকে অগ্রসর হলে দ্রুত শব্দের তীক্ষ্ণতার আপাত বৃদ্ধি হয়।

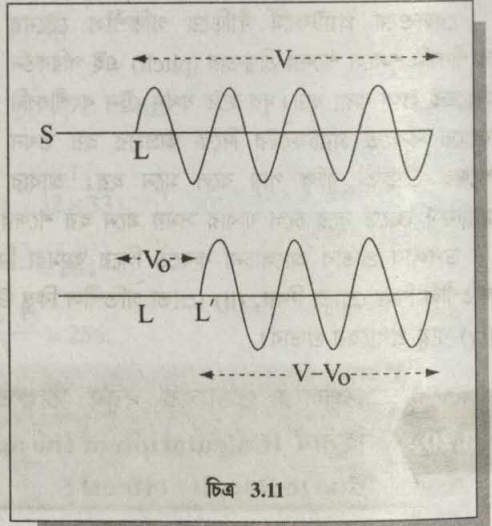
(গ) উৎস ও শ্রোতা উভয়েই গতিশীল (Source and listener both in motion) :

উৎস এবং শ্রোতা উভয়েই গতিশীল হলে, উৎসের গতির দরুন তরঙ্গদৈর্ঘ্যের পরিবর্তন হবে এবং শ্রোতার গতির দরুন শ্রোতা কর্তৃক গৃহীত তরঙ্গ-সংখ্যার পরিবর্তন হবে। যদি উভয়েই শব্দের গতির

অভিমুখে গতিশীল হয়, তবে উৎসের গতির দরুন পরিবর্তিত তরঙ্গদৈর্ঘ্য $\lambda' = \frac{V - V_s}{n}$.

আবার, শ্রোতার গতির দরুন শ্রোতা কর্তৃক গৃহীত তরঙ্গগুচ্ছের বিস্তার $= V - V_0$,

$$\therefore \text{শব্দের আপাত কম্পাঙ্ক } n_1 = \frac{\text{তরঙ্গগুচ্ছের বিস্তার}}{\text{তরঙ্গদৈর্ঘ্য}} = \frac{V - V_0}{V - V_s} \cdot n \dots (v)$$



চিত্র 3.11

(ঘ) বায়ুপ্রবাহের প্রভাব (Effect of wind) :

যদি বায়ু মাধ্যম গতিশীল হয়—অর্থাৎ উৎস S হতে শ্রোতা L -এর দিকে বায়ু ω গতিবেগে প্রবাহিত হয়, তবে শব্দের কার্যকর গতিবেগ হবে $(V + \omega)$; কাজেই,

$$n_1 = \frac{(V + \omega) - V_0}{(V + \omega) - V_s} \cdot n \dots (vi)$$

যদি বায়ু বিপরীত দিকে একই বেগে প্রবাহিত হয়, তবে ω নেগেটিভ ধরতে হবে এবং সেক্ষেত্রে,

$$n_1 = \frac{(V - \omega) - V_0}{(V - \omega) - V_s} \cdot n \dots (vii)$$

□ EXAMPLES □

১. একটি ট্রেন ক্রমাগত 256 কম্পাঙ্কের বংশীধ্বনি করতে করতে রেল স্টেশনের দিকে 36 km/h বেগে অগ্রসর হচ্ছে। স্টেশনের প্র্যাটফর্মে অপেক্ষারত একজন ব্যক্তির কানে ঐ কম্পাঙ্ক কত মনে হবে? ঐ সময় বায়ুতে শব্দের বেগ = 332 m/s.

উঃ। এক্ষেত্রে পর্যবেক্ষক স্থির এবং শব্দের উৎস পর্যবেক্ষকের দিকে গতিশীল। আপাত কম্পাঙ্ক

$$n' = \frac{V}{V - V_s} \times n; \text{ এখানে, } V = \text{শব্দের গতিবেগ} = 332 \text{ m/s}; V_s = \text{উৎসের গতিবেগ} = \frac{36 \times 10^3}{60 \times 60} =$$

10 m/s; n = মূল কম্পাঙ্ক = 256

$$\therefore n' = \frac{332}{332 - 10} \times 256 = 264 \text{ (প্রায়)}।$$

২. একটি ট্রেন 72 km/h বেগে একজন দণ্ডায়মান পর্যবেক্ষককে অতিক্রম করে চলে গেল। ট্রেনটি ক্রমাগত বংশীধ্বনি করতে থাকলে, ইঞ্জিন পর্যবেক্ষকের দিকে অগ্রসর হবার সময় এবং পর্যবেক্ষক হতে দূরে চলে যাবার সময় শ্রুত শব্দের কম্পাঙ্কের অনুপাত নির্ণয় করো। বায়ুতে শব্দের বেগ = 330 m/s.

$$\text{উঃ। ট্রেনের গতিবেগ } V_s = \frac{72 \times 10^3}{60 \times 60} = 20 \text{ m/s.}$$

যখন ট্রেন পর্যবেক্ষকের দিকে অগ্রসর হচ্ছে তখনকার শ্রুত কম্পাঙ্ক

$$n_1 = \frac{V}{V - V_s} \times n = \frac{330}{330 - 20} \times n = \frac{330}{310} \times n \quad [n = \text{শব্দের মূল কম্পাঙ্ক}]$$

যখন ট্রেন পর্যবেক্ষক থেকে দূরে চলে যাচ্ছে, তখনকার শ্রুত কম্পাঙ্ক

$$n_2 = \frac{V}{V + V_s} \times n = \frac{330}{330 + 20} \times n = \frac{330}{350} \times n$$

$$\therefore \frac{n_1}{n_2} = \frac{330}{310} \times \frac{350}{330} = 1.13.$$

৩. কোনো শ্রোতার দিকে 100 m/s বেগে অগ্রসরমান ট্রেনের বংশীধ্বনির তীক্ষ্ণতার সাথে শ্রুত শব্দের তীক্ষ্ণতার শতকরা পার্থক্য কত হবে? বায়ুতে শব্দের বেগ = 330 m/s.

$$\text{উঃ। যেহেতু উৎস শ্রোতার দিকে অগ্রসর হচ্ছে তাই } n' = \frac{V}{V - V_s} \times n = \frac{330}{330 - 100} \times n = \frac{33}{23} n$$

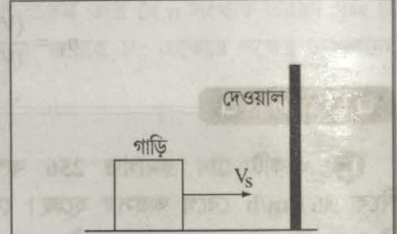
$$\text{অতএব, দুই কম্পাঙ্কের পার্থক্য} = n' - n = \frac{33n}{23} - n = \frac{10n}{23}$$

$$\text{সুতরাং, শতকরা পার্থক্য} = \frac{10n}{23} \times \frac{100}{n} = 43.5\%.$$

৪. একটি মোটর গাড়ি একটি খাড়া দেওয়ালের দিকে অগ্রসর হচ্ছে। গাড়ির চালক লক্ষ করল যে তার হর্নের শব্দের কম্পাঙ্ক 440 Hz থেকে পরিবর্তিত হয়ে 480 Hz হচ্ছে যখন হর্নের শব্দ দেওয়াল কর্তৃক প্রতিফলিত হয়ে তার কানে পৌঁছাচ্ছে। শব্দের গতিবেগ 330 m/s হলে, গাড়ির দ্রুতি নির্ণয় করো।

উঃ। ধর, গাড়ি দেওয়ালের দিকে V_S গতিবেগে অগ্রসর হচ্ছে। এক্ষেত্রে দেওয়াল বায়ু সাপেক্ষে স্থির এবং উৎস দেওয়ালের দিকে অগ্রসর হচ্ছে। হর্নের কম্পাঙ্ক n হলে, দেওয়াল (এক্ষেত্রে শ্রোতা) যে কম্পাঙ্ক শুনবে তা

$$n' = \frac{V}{V - V_S} \cdot n \quad [3.8 \text{ অনুচ্ছেদ সমীকরণ (i)}]$$



চিত্র 3.12

দেওয়াল এই শব্দকে কম্পাঙ্ক অপরিবর্তিত রেখে প্রতিফলিত করবে। এবার দেওয়াল 'n' কম্পাঙ্কের উৎস হিসাবে কাজ করবে এবং গাড়ির চালক হবে শ্রোতা। এক্ষেত্রে উৎস স্থির এবং শ্রোতা V_S বেগে উৎসের দিকে

অগ্রসর হচ্ছে। প্রতিফলিত শব্দের দরুন চালক যে কম্পাঙ্ক শুনতে পাবে তা, $n'' = \frac{V + V_S}{V} \cdot n'$ [3.8 অনুচ্ছেদ সমীকরণ (iii)]

$$\therefore n'' = \frac{V + V_S}{V} \cdot \frac{V}{V - V_S} \cdot n = \frac{V + V_S}{V - V_S} \cdot n ; \text{ এক্ষেত্রে } n'' = 480 \text{ এবং } n = 440$$

$$\therefore \frac{480}{440} = \frac{V + V_S}{V - V_S} \text{ অথবা } \frac{V_S}{V} = \frac{4}{92}$$

$$\therefore V_S = \frac{4}{92} \times 330 = 14.3 \text{ m/s} = 52 \text{ km/h}.$$

এই পরিচ্ছেদের বিষয়বস্তু সম্পর্কে কয়েকটি প্রশ্ন (Some typical problems of this chapter)

- একটি সঙ্গীতযন্ত্রের তার যে-কম্পাঙ্কের সুর উৎপন্ন করছে নিম্নলিখিত ক্ষেত্রে তা কীরূপভাবে পরিবর্তিত হবে কারণসহ উল্লেখ করো।
 - টান চতুর্গুণ করলে,
 - দৈর্ঘ্য অর্ধেক করলে,
 - মোটা তার নিলে।
- টান করা তারের তির্যক কম্পনে যে মূলসুর উৎপন্ন হয় তার কম্পাঙ্ক নিম্নলিখিত সমীকরণ হতে পাওয়া যায় : $n = \frac{1}{2l} \sqrt{\frac{T}{m}}$
 - উপরোক্ত সমীকরণ হতে বোঝা যায় যে, টান চতুর্গুণ করলে ($T = 4T$), কম্পাঙ্ক দ্বিগুণ হবে।
 - দৈর্ঘ্য অর্ধেক করলে ($l = l/2$) কম্পাঙ্ক দ্বিগুণ হবে।

(iii) মোটা তার নিলে, প্রতি একক দৈর্ঘ্যে ভর (m) বৃদ্ধি পাবে। উপরোক্ত সমীকরণ হতে জানা যায় যে m বৃদ্ধি পেলে কম্পাঙ্ক (n) হ্রাস পাবে।

2. খোলা অর্গান নলে মূলসুরের উপর নিম্নলিখিত বিষয়গুলির প্রভাব কীরূপ হয় :
(i) খোলামুখ পরিপূর্ণ ঢেকে দেওয়া হল, (ii) নলের দৈর্ঘ্য বাড়ানো হল, (iii) নলের ব্যাস বাড়ানো হল, (iv) নলের বায়ুর তাপমাত্রা বৃদ্ধি করা হল।

● খোলা অর্গান নলে মূলসুর উৎপন্ন হলে, তার কম্পাঙ্ক নিম্নলিখিত সমীকরণ হতে পাওয়া যায় :

$$n_0 = \frac{V}{2l}; \text{ আবার, একই দৈর্ঘ্যের বন্ধ অর্গান নলে মূলসুরের কম্পাঙ্ক } n'_0 = \frac{V}{4l}.$$

(i) এখন খোলা মুখ পরিপূর্ণ ঢেকে দিলে খোলা অর্গান নল বন্ধ নলে পরিণত হবে এবং উৎপন্ন সুরের

কম্পাঙ্ক হবে $n'_0 = \frac{V}{4l} = \frac{V}{2 \cdot 2l} = \frac{n_0}{2}$; অর্থাৎ কম্পাঙ্ক পূর্বের তুলনায় অর্ধেক হবে।

(ii) যেহেতু, $n_0 \propto \frac{1}{l}$ সেহেতু নলের দৈর্ঘ্য বাড়ালে, কম্পাঙ্ক কমে যাবে।

(iii) খোলা নলের প্রান্তিক-ত্রুটি বিবেচনা করলে, মূলসুরের কম্পাঙ্ক $n_0 = \frac{V}{2(l+2x)}$; প্রান্তিক-ত্রুটি $x = 0.6 \times$ নলের ব্যাসার্ধ। এখন, নলের ব্যাস বাড়ালে, প্রান্তিক-ত্রুটির পরিমাণ বৃদ্ধি পায়; আবার প্রান্তিক- ত্রুটি বৃদ্ধি পেলে কম্পাঙ্ক হ্রাস পাবে।

(iv) নলের বায়ুর তাপমাত্রা বৃদ্ধি করলে, বায়ুতে শব্দের বেগ বৃদ্ধি পাবে। উপরোক্ত সমীকরণ হতে বোঝা যায় যে, শব্দের গতিবেগ (V) বৃদ্ধিতে মূলসুরের কম্পাঙ্ক বৃদ্ধি পাবে।

3. একটি সুরশলাকা একটি বন্ধনলের সাথে অনুনাদ করে। কিন্তু ঐ সুরশলাকা একই দৈর্ঘ্যের খোলা নলের সাথে অনুনাদ করে না। কেন ?

● সুরশলাকার কম্পাঙ্ক n হলে সমসুর বন্ধ নলের কম্পাঙ্কও n । কিন্তু বন্ধ নলের দৈর্ঘ্য l হলে

$$l = \frac{V}{4n}; \text{ আবার খোলানলের কম্পাঙ্ক } n = \frac{V}{2l'}, \text{ অথবা } l' = \frac{V}{2n}। l \text{ এবং } l' \text{ সমান নয়; তাই}$$

একই সুরশলাকা সমদৈর্ঘ্যের বন্ধ এবং খোলা নলের সাথে অনুনাদ করবে না।

4. দুটি সুরশলাকা সেকেন্ডে 6টি স্বরকম্প তৈরি করে। একটির বায়ু অল্প ভারী করলে স্বরকম্পের সংখ্যা হয় সেকেন্ডে 2টি। ভার আরও বাড়ালে, স্বরকম্পের সংখ্যা আবার সেকেন্ডে 6টি হল। এটা কীরূপে সম্ভব ?

● সুরশলাকাকে ভারী করলে কম্পাঙ্ক কমে যায়। ফলে স্বরকম্পের সংখ্যাও কমে যায়। স্বরকম্পের সংখ্যা কমে যাওয়াতে বোঝা যায় ঐ সুরশলাকার কম্পাঙ্ক অপর সুরশলাকা অপেক্ষা বেশি ছিল। এখন, ঐ সুরশলাকাকে আরও ভারী করলে, কম্পাঙ্ক আরও কমে যাবে এবং এক সময়ে দুই সুরশলাকার কম্পাঙ্ক সমান হবে। তখন কোনো স্বরকম্প শোনা যাবে না। তার পর যদি ঐ সুরশলাকাকে আরও ভারী করা যায় তবে ঐ সুরশলাকার কম্পাঙ্ক এবার অপর সুরশলাকা অপেক্ষা কম হবে এবং আবার স্বরকম্প শোনা যাবে। এভাবে সুরশলাকার ভার বৃদ্ধি করে যদি তার কম্পাঙ্ক অপর সুরশলাকা হতে 6 কম হয় তবে আবার সেকেন্ডে 6টি স্বরকম্প শোনা যাবে।



রচনামূলক প্রশ্ন

1. স্থাণুতরঙ্গ কীরূপে উৎপন্ন হয়? তাদের বৈশিষ্ট্য কী? লেখচিত্রের সাহায্যে স্থাণুতরঙ্গের উৎপত্তি ব্যাখ্যা করো।
2. স্থাণু অনুদৈর্ঘ্য এবং স্থানু তির্যক তরঙ্গের একটি করে উদাহরণ দাও। সুস্পন্দ বিন্দু ও নিম্নস্পন্দ বিন্দু কাকে বলে চিত্রসহ বুঝিয়ে দাও।
3. গাণিতিক বিশ্লেষণের সাহায্যে প্রমাণ করো যে স্থাণুতরঙ্গে পরপর দুটি নিম্নস্পন্দ বিন্দু অথবা পরপর দুটি সুস্পন্দ বিন্দুর দূরত্ব সমান এবং তারা প্রত্যেকে স্থাণুতরঙ্গ দৈর্ঘ্যের অর্ধেকের সমান।
4. তারের তির্যক কম্পনের নিয়মগুলি ব্যাখ্যা করো। তারের তির্যক কম্পনে যে মূলসুর নির্গত হয় তার কম্পাঙ্কের রাশিমালা নির্ধারণ করো।
5. উপসুর ও সম্মেলন কাকে বলে? টানা দেওয়া তারের তির্যক কম্পনে তারা কীরূপে উৎপন্ন হয়?
6. খোলা ও বন্ধ নলে বায়ুস্তম্ভের কম্পনের বিভিন্ন প্রকৃতি আলোচনা করো এবং তাদের মূলসুর ও উপসুরের কম্পাঙ্ক নির্ণয় করো।
7. প্রমাণ করো যে, একমুখ বন্ধ নলে বায়ুস্তম্ভের কম্পনের দ্বারা মূলসুরের বিজোড় কম্পনাঙ্কের উপসুরগুলির কেবল উৎপন্ন হয়।
8. পরিষ্কার চিত্র ঐক্যে বুঝিয়ে দাও কীরূপে খোলা এবং বন্ধ নলে স্থাণুতরঙ্গের উৎপত্তি হয়।
9. একটি বন্ধমুখ নলের দৈর্ঘ্যের সাথে তার অভ্যন্তরস্থ কম্পমান বায়ুস্তম্ভের তরঙ্গদৈর্ঘ্যের সম্পর্ক নির্ণয় করো।
10. দুই মুখ খোলা অর্গান পাইপে প্রগামী ও প্রতিফলিত শব্দতরঙ্গের উপরিপাত আলোচনা করো।
11. স্বরকম্প কী? স্বরকম্পের সাহায্যে কীরূপে অজ্ঞাত কম্পাঙ্ক নির্ণয় করা যায়?
12. স্বরকম্প কাকে বলে? প্রায় সমান কম্পাঙ্কের দুটি সুর একসঙ্গে ধ্বনিত হলে, কীরূপে স্বরকম্পের উৎপত্তি হয় তা গাণিতিক পদ্ধতিতে ব্যাখ্যা করো।
13. 256, 264, 272, 280 এবং 288 কম্পাঙ্কের কতগুলি সুরশলাকা তোমাকে দেওয়া হল। আর একটি সুরশলাকা দেওয়া হল যার কম্পাঙ্ক 266 হতে 288-র ভিতর। স্বরকম্পের সাহায্যে সুরশলাকার কম্পাঙ্ক সঠিকভাবে কীরূপে নির্ণয় করবে?
14. একটি তরঙ্গ উৎস কোনো স্থির পর্যবেক্ষকের দিকে u বেগে অগ্রসর হচ্ছে। উৎস থেকে নির্গত তরঙ্গের কম্পাঙ্ক n ও তরঙ্গবেগ V হলে আপাত কম্পাঙ্ক কী হবে? যদি পর্যবেক্ষক উৎসের দিকে u বেগে অগ্রসর হয় তাহলে আপাত কম্পাঙ্ক কী হবে?

সংক্ষিপ্ত উত্তরের প্রশ্ন

1. নিম্নস্পন্দ ও সুস্পন্দ বিন্দু কী? নিম্নলিখিত ক্ষেত্রে তরঙ্গদৈর্ঘ্য কত হবে? (i) দুটি পরপর নিম্নস্পন্দ বিন্দুর, (ii) একটি নিম্নস্পন্দ ও পরবর্তী সুস্পন্দ বিন্দুর (iii) দুটি পরপর সুস্পন্দ বিন্দুর (iv) তিনটি পরপর নিম্নস্পন্দ বিন্দুর দূরত্ব।
2. একটি তির্যক তরঙ্গের সমীকরণ $y = 6 \cos \pi/2 (0.005x - 8t - 0.57)$; x, y সেস্টিমিটারে এবং t সেকেন্ডে প্রকাশ করা হয়েছে। সেই তরঙ্গের সমীকরণ নির্ণয় করো যা পূর্বোক্ত তরঙ্গের সাথে যুক্ত হয়ে স্থাণুতরঙ্গের উৎপত্তি করবে।
[Ans. $y = 6 \cos \pi/2 (0.005x + 8t - 0.57)$]
3. (a) দুটি তরঙ্গের ভিতর পার্থক্য শুধু বিস্তারে। তারা কোনো মাধ্যমের ভিতর দিয়ে বিপরীতমুখী অগ্রসর হলে কী স্থাণুতরঙ্গ সৃষ্টি হবে? তাতে কী নিম্নস্পন্দ বিন্দু থাকবে? শক্তির কোনো স্থানান্তর হবে কি?
[সংক্ষেপে : স্থাণুতরঙ্গ সৃষ্টি হবে। কোনো নিম্নস্পন্দ বিন্দু থাকবে না কিন্তু সর্বাধিক এবং সর্বনিম্ন সরণের বিন্দু থাকবে। শক্তির স্থানান্তর হবে না।]
(b) স্বরকম্প প্রতিবোধ্য হবার শর্তগুলি কী কী?
4. দুই মুখ খোলা একটি নলের দৈর্ঘ্য যখন তরঙ্গদৈর্ঘ্যের সমান এবং তরঙ্গদৈর্ঘ্যের $\frac{3}{2}$ গুণ, তখন নলের অভ্যন্তরে স্থাণুতরঙ্গের রূপ ছবি ঐক্যে দেখাও।
[Jt. Entrance 1982]
5. স্থাণুতরঙ্গ ও চলতরঙ্গের ভিতর পার্থক্য উল্লেখ করো।
6. কম্পনশীল তারের কম্পাঙ্ক কীরূপে (i) তারের দৈর্ঘ্য, (ii) তারের টানের উপর নির্ভর করে?
7. নিম্নলিখিত প্রশ্নগুলির উত্তর লেখো : (i) খোলানলে খুব জোরে বায়ুপ্রবাহ চালালে মূলসুরের এক অর্ধেক উর্ধ্বের সুর নির্গত হয় কেন? (ii) খোলা ও বন্ধ নল কর্তৃক সৃষ্ট সুরের জাতির তফাত লক্ষ করা যায় কেন? (iii) খোলানলের বায়ুর আর্দ্রতা পরিবর্তন করলে সৃষ্ট শব্দের কোনো পরিবর্তন হবে কী?
8. “খোলা অর্গান নল নিম্নসূত শব্দের মাধুর্য বন্ধ অর্গান নল নিম্নসূত শব্দ অপেক্ষা অনেক বেশি”—তা ব্যাখ্যা করো।

9. একটি খোলা অর্গান নলে মূলসুরের কীরূপ পরিবর্তন হবে যদি (i) খোলা মুখ আংশিক ঢেকে দেওয়া হয়। (ii) খোলামুখ পরিপূর্ণ ঢেকে দেওয়া হয়। (iii) নলের দৈর্ঘ্য বাড়ানো হয়। (iv) নলের ব্যাস বাড়ানো হয়।
10. (a) দু'মুখ খোলা সমদৈর্ঘ্যের দুটি অর্গান নল হতে বিভিন্ন তীক্ষ্ণতায় সুর নির্গত হয় যদি নলের ব্যাসার্ধ সমান না হয়। কেন?
- (b) দুটি সমান দৈর্ঘ্যের কিন্তু বিভিন্ন ব্যাসার্ধের অর্গান নলের ক্ষেত্রে আলাদা কম্পাঙ্ক হয় কেন?

$$\left[\text{সংকেত : } n = \frac{V}{2(l+2r)} \right]$$

11. তোমাকে সমদৈর্ঘ্যের দুটি নল দেওয়া হল—একটি বন্ধ নল এবং অপরটি খোলা নল। ঐ দুই নল হতে নিঃসৃত মূলসুরের কম্পাঙ্কের ভিতর কী সম্পর্ক থাকবে? অথবা, কোনো খোলা নলে মূলসুরের তীক্ষ্ণতা সমদৈর্ঘ্যের বন্ধ নলে মূলসুরের তীক্ষ্ণতার এক অর্ধেক উপরে প্রমাণ করো।
12. নিম্নলিখিত রাশিগুলি ব্যাখ্যা করো :—(i) মূলসুর, (ii) উপসুর, (iii) সমমেল এবং (iv) অর্ধেক। “সকল সমমেল উপসুর কিন্তু সকল উপসুর সমমেল নয়।”—ব্যাখ্যা করো।
13. (i) খনিতে বিষাক্ত বাষ্পের অস্তিত্ব নির্ণয়ের স্বরকম্প কীরূপে প্রযুক্ত হয়?
- (ii) দুটি সুরশলাকা সেকেন্ডে ৪টি স্বরকম্প তৈরি করে। একটি বাহু অল্প ভারী করলে স্বরকম্পের সংখ্যা হয় সেকেন্ডে 2; তার আরও বাড়ালে, স্বরকম্পের সংখ্যা আবার সেকেন্ডে ৪টি হয়। এটা কীরূপে সম্ভব?

→ অতি সংক্ষিপ্ত উত্তরের প্রশ্ন

1. অনুদৈর্ঘ্য তরঙ্গে একটি ঘনীভবন এবং পরবর্তী তনুভবনের মধ্যে দূরত্ব কত?
2. গ্যাসে তির্যক তরঙ্গ উৎপন্ন করা যায় না কেন?
3. দুমুখ খোলা একটি চোঙাকৃতি নলের বায়ুস্তরের মূল কম্পাঙ্ক f ; নলটিকে খাড়াভাবে জলে অর্ধেক নিমজ্জিত রাখলে মূল কম্পাঙ্ক কি $2f$ হবে?
4. কঠিন মাধ্যমে শব্দের বেগ সাধারণভাবে গ্যাস মাধ্যমে বেগ অপেক্ষা বেশি হয় কেন?
5. তারে অনুদৈর্ঘ্য তরঙ্গের বেগ কি তির্যক তরঙ্গের বেগ অপেক্ষা বেশি?
6. দুটি সুরশলাকাকে একসঙ্গে কম্পিত করলে 0.2সেকেন্ড অন্তর জোর শব্দ শোনা যায়। শলাকাদুটির কম্পাঙ্ক পার্থক্য কত?
7. তরঙ্গের উপরিপাতের ফলে কি কি ঘটনা ঘটে? ঐ সকল ঘটনা ঘটান শর্ত কি?
8. স্বরকম্প শ্রুতিবোধ্য হতে গেলে কি কি শর্তের প্রয়োজন?
9. টানা দেওয়া তারের তির্যক কম্পনের কম্পাঙ্ক তারের উপাদানের ঘনত্বের উপর কিভাবে নির্ভর করে?
10. ডপলার প্রভাব (effect) কী?

→ बहुमुखी पद्धतेश्चर प्रश्न [Multiple choice type (MCQ)]

(A) নির্ভুল উত্তরটি চিহ্নিত করো :

- [i] একটি সনোমিটারের দুটি অভিন্ন উপাদানের তার লাগানো আছে ও এদের টানও অভিন্ন। তার দুটির দৈর্ঘ্য ও ব্যাসার্ধের অনুপাত যথাক্রমে 2 : 1 এবং 1 : 4 হলে এদের কম্পাঙ্কের অনুপাত হবে
(A) 2 : 1 (B) 1 : 2 (C) 1 : 1 (D) $\sqrt{2} : 1$.
- [ii] একটি দুমুখ খোলা নলের বায়ুস্তরের মূলসুরের কম্পাঙ্ক n । নলটির অর্ধেক জলে ডোবালে বায়ুস্তরের মূলসুরের কম্পাঙ্ক হবে
(A) $\frac{n}{2}$ (B) $\frac{3n}{4}$ (C) n (D) $2n$.
- [iii] দুটি প্রায় সমান কম্পাঙ্ক ও সমান বিস্তারের তরঙ্গমালা একই দিকে অগ্রসর হয়ে উপরিপন্ন হলে
(A) স্থানান্তরজা (B) প্রতিফলন (C) স্বরকল্প (D) অপবর্তন তৈরি হয়।
- [iv] যখন টান দেওয়া তারের মধ্যবিন্দুতে টোকা দেওয়া হয় তখন যে সকল উপসুরের
(A) সুস্পন্দ বিন্দু (B) নিস্পন্দ বিন্দু তারের মধ্যবিন্দুতে অবস্থিত থাকে তারাই চাপা পড়ে।
- [v] গ্যাসের ভিতর দিয়ে চলাচল করে কেবলমাত্র
(A) তির্যক তরঙ্গ (B) অনুদৈর্ঘ্য তরঙ্গ (C) স্থানান্তরজা (D) তড়িৎচুম্বকীয় তরঙ্গ।

[vi] টানা দেওয়া তারে তির্যক কম্পনে যে তরঙ্গের উৎপত্তি হয় তার গতিবেগ

(A) $\sqrt{\frac{E}{\rho}}$

(B) $\sqrt{\frac{T}{m}}$

(C) $\sqrt{\frac{\gamma P}{\rho}}$

(D) $\sqrt{\frac{\gamma P}{\rho}}$

[vii] $y = a \cos(kx - \omega t)$ সমীকরণ দ্বারা নির্দেশিত একটি তরঙ্গ অন্য আর একটি তরঙ্গের উপর উপরিপন্ন হয়ে এবূপ একটি স্থানুতরঙ্গের উদ্ভব করে যে $x = 0$ বিন্দুতে একটি নিম্পন্দ বিন্দু গঠিত হয়। অন্য তরঙ্গটির সমীকরণ হবে

(A) $y = a \sin(kx + \omega t)$

(B) $y = -a \cos(kx - \omega t)$

(C) $y = -a \cos(kx + \omega t)$

(D) $y = a \sin(kx - \omega t)$

[viii] l দৈর্ঘ্যের একটি বন্ধ অর্গান নলের বায়ুস্তম্ভের দৈর্ঘ্য ও শব্দের গতিবেগের সম্পর্ক

(A) 0

(B) l

(C) $2l$

(D) $4l$

[ix] একটি এঙ্কিন যখন একজন স্থির পর্যবেক্ষকে অতিক্রম করে যায় তখন এঙ্কিনের হুইসের আপাত কম্পাঙ্ক 6 : 5 অনুপাতে পরিবর্তিত হয়। শব্দের বেগ 330 m/s হলে, এঙ্কিনের গতিবেগ হবে

(A) 3 m/s

(B) 30 m/s

(C) 0.33 m/s

(D) 660 m/s.

[x] একটি টানা দেওয়া তারের দৈর্ঘ্যের তিন অংশের কম্পাঙ্ক n_1, n_2 এবং n_3 হলে, সম্পূর্ণ তারের কম্পাঙ্ক হবে

(A) $n_1 + n_2 + n_3$

(B) $\left(\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2} + \frac{1}{n_3}\right)^{-1}$

(C) $n_1 \cdot n_2 \cdot n_3$

(D) $(n_1 \cdot n_2 \cdot n_3)^{\frac{1}{3}}$

[xi] দর্পণ আলোকতরঙ্গের উত্তম প্রতিফলক কিন্তু শব্দ তরঙ্গের উত্তম প্রতিফলক নয়। আবার, একটি বড়ো গাছ শব্দ তরঙ্গের উত্তম প্রতিফলক কিন্তু আলোক তরঙ্গের নয়। এর কারণ আলোকতরঙ্গ ও শব্দ তরঙ্গের পার্থক্য,

(A) তরঙ্গদৈর্ঘ্যে

(B) গতিবেগে

(C) বিস্তারে

(D) পর্যায়কালে

[xii] 65টি সুরশলাকাকে এবূপভাবে সাজানো হল যে প্রত্যেক সুরশলাকা আগের শলাকার সঙ্গে সেকেন্ডে 3টি স্বরকম্প উৎপন্ন করে। শেষ সুরশলাকা প্রথমটির এক অষ্টক উর্ধ্বে থাকলে প্রথম ও শেষ শলাকার কম্পাঙ্ক হবে

(A) 384, 192

(B) 192, 384

(C) 184, 392

(D) 392, 184.

[xii] একটি সুরশলাকা 95 cm এবং 100 cm দীর্ঘ টান করা তারের সঙ্গে প্রতি সেকেন্ডে 10টি স্বরকম্প উৎপন্ন করলে ঐ শলাকার কম্পাঙ্ক

(A) 375

(B) 380

(C) 390

(D) 400.

[xiv] শব্দ উৎস স্থির শ্রোতার দিকে অগ্রসর হলে শব্দের আপাত কম্পাঙ্ক

(A) হ্রাস পায়

(B) একই থাকে

(C) বৃদ্ধি পায়

(D) বহুগুণ হ্রাস পায়।

[xv] A এবং B দুটি সুরশলাকা একসঙ্গে কম্পিত থেকে সেকেন্ডে 5টি স্বরকম্প সৃষ্টি করে। শলাকা দুটি যথাক্রমে 36 cm এবং 37 cm দীর্ঘ বন্ধনলের বায়ুস্তম্ভের সাথে অনুনাদী হলে, তাদের কম্পাঙ্কের মান

(A) 175, 180

(B) 180, 185

(C) 185, 190

(D) 195, 200.

[xvi] সমদৈর্ঘ্যের দুটি খোলা ও বন্ধনলের বায়ুস্তম্ভের কম্পনের ক্ষেত্রে মূলসুরের কম্পাঙ্কের অনুপাত

(A) 2 : 1

(B) 1 : 2

(C) 1 : 4

(D) 4 : 1.

[xvii] খনিতে দূষিত গ্যাসের অস্তিত্ব পরীক্ষা করা যায়

(A) শব্দের ব্যতিচার দ্বারা

(B) স্বরকম্পের দ্বারা

(C) স্থানুতরঙ্গের দ্বারা

(D) প্রতিফলকের দ্বারা।

[xviii] স্থানুতরঙ্গের ক্ষেত্রে পরপর দুটি নিম্পন্দ বিন্দুর মধ্যকার দূরত্ব

(A) $\frac{\lambda}{2}$

(B) $\frac{\lambda}{3}$

(C) 2λ

(D) $\frac{\lambda}{4}$

[xix] একটি বন্ধনলের বায়ুস্তম্ভের কম্পনের মূলসুরের কম্পাঙ্ক 512 Hz। ঐ নলটি দুমুখ খোলা হলে ঐ নলের মূলসুরের কম্পাঙ্ক হবে

(a) 256 Hz

(B) 1024 Hz

(C) 221 Hz

(D) 128 Hz.

[xx] একটি টানা দেওয়া তারের দৈর্ঘ্য 40 cm হলে তার তির্যক কম্পনের ক্ষেত্রে উৎপন্ন স্থানান্তরজের সর্বোচ্চ তরঙ্গ দৈর্ঘ্য হয়।

- (A) 40 cm (B) 80 cm (C) 120 cm (D) 20 cm.

[xxi] একটি হুইশেল 9500 Hz কম্পাঙ্কের শব্দ করতে করতে 10 ms^{-1} বেগে একজন দিঘর পর্যবেক্ষকের দিকে অগ্রসর হচ্ছে। পর্যবেক্ষক সর্বোচ্চ 10,000 Hz কম্পাঙ্কের শব্দ শুনতে পেলে, u -এর সর্বাধিক মান হবে

- (A) $\frac{15}{\sqrt{2}} \text{ ms}^{-1}$ (B) 15 ms^{-1} (C) 30 ms^{-1} (D) $15\sqrt{2} \text{ ms}^{-1}$.

[xxii] দুটি অনুরূপ বাঁশী 27°C তাপমাত্রায় 300 Hz কম্পাঙ্কের মূলসুর দেয়। বাতাসের তাপমাত্রা একটি বাঁশীতে বেড়ে 31°C হলে, সেক্ষেত্রে স্বরকম্প শোনা যাবে,

- (A) 1 (B) 3 (C) 2 (D) 4. [Jt. Entrance 2006]

[xxiii] দুটি তরঙ্গের যাদের সমীকরণ হল $y_1 = a \sin \frac{2\pi}{\lambda} (ut - x)$ ও $y_2 = a \sin \frac{2\pi}{\lambda} (ut + x)$ উপরিপাতন ঘটানো হল।

উপরিপতিত তরঙ্গের বিস্তার হল

- (A) $2a \cos 2\pi u$ (B) $2a \cos (2\pi x/\lambda)$ (C) $2a \cos (2\pi u)$ (D) $2a \cos \left(\frac{2\pi x}{\lambda} \right)$

[Jt. Entrance 2006]

[xxiv] একটি স্থানান্তরজের সমীকরণ দেওয়া আছে $y = 10 \sin \frac{\pi x}{4} \cos 20\pi t \text{ cm}$ । দুটি পাশাপাশি নিষ্পন্দ বিন্দুর দূরত্ব

- হবে, (A) 2 cm (B) 4 cm (C) 1 cm (D) 8 cm. [Jt. Entrance 2006]

(B) শূন্যস্থান পূরণ করো [Fill up the gaps] :

[i] দুটি সুসংগত তরঙ্গের প্রত্যেকটির তীব্রতা I । তরঙ্গ দুটির উপরিপাতে উৎপন্ন আলরের উজ্জ্বল পটির তীব্রতা _____।

[ii] খোলা নলে খুব জোরে বায়ুপ্রবাহ চালালে মূলসুরের এক _____ উর্ধ্বের সুর নির্গত হয়।

[iii] একই দৈর্ঘ্যের মোটা এবং সরু নলের ক্ষেত্রে মোটা নলের সুরের কম্পাঙ্ক সরু নল অপেক্ষা _____।

[iv] একটি দুমুখ খোলা নল থেকে মূলসুর নির্গত হতে থাকার সময় যদি হঠাৎ এক মুখ বন্ধ করে দেওয়া হয় তবে নির্গত সুরের তীক্ষ্ণতা _____ পায়।

[v] কোনো নির্দিষ্ট টানে তারে তির্যক তরঙ্গের বেগ অনুদৈর্ঘ্য তরঙ্গের বেগ অপেক্ষা _____।

[vi] উপসুরগুলির মধ্যে কেবলমাত্র যোগুলির কম্পাঙ্ক মূলসুরের কম্পাঙ্কের সরল গুণিতক তাদের বলা হয় _____।

(C) ভুল কি নির্ভুল বিচার করো (True or false) :

[i] একই বিস্তার ও কম্পাঙ্কের দুটি চলতরঙ্গ বিপরীত দিক থেকে অগ্রসর হয়ে একটি আর একটির উপর আপতিত হলে স্বরকম্পের সৃষ্টি হয়।

[ii] একই কম্পাঙ্ক ও বিস্তারের অথবা একই কম্পাঙ্ক ও সামান্য পৃথক বিস্তারের দুটি সরল দোলতরঙ্গ একে আর একের উপর আপতিত হলে ব্যতিচার সৃষ্টি হয়।

[iii] স্থানান্তরজের নিষ্পন্দ বিন্দুগুলির ভিতর দিয়ে সর্বাধিক শক্তি চালিত হয়।

[iv] একটি স্থানান্তরজকে $2a \cos \frac{2\pi x}{\lambda} \sin \frac{2\pi u}{\lambda}$ সমীকরণ দিয়ে প্রকাশ করা যায়। ঐ তরঙ্গের বিস্তার = $2a \cos \frac{2\pi x}{\lambda}$ ।

[v] কম্পমান তারের দৈর্ঘ্য ও ঘনত্ব অপরিবর্তিত থাকলে তারে তির্যক কম্পনের কম্পাঙ্ক তারের ব্যাসার্ধের ব্যস্তানুপাতে পরিবর্তিত হয়।

[vi] একটি বাদ্যযন্ত্রের স্বরে 256, 468, 502, 768, 1020, 1280 প্রভৃতি কম্পাঙ্কের সুর আছে। এক্ষেত্রে 256 কম্পাঙ্কের সুরটি মূলসুর কিন্তু 768 এবং 1280 কম্পাঙ্কের সুর দুটি সমমেল।

→ সহজ গাণিতিক প্রশ্ন

1. 220 কম্পাঙ্কের শব্দতরঙ্গ বায়ুতে স্থানান্তরজের সৃষ্টি করল। বায়ুতে শব্দের বেগ 330 m/s হলে, (i) দুটি পরপর সুস্পন্দ বিন্দুর দূরত্ব, (ii) একটি নিষ্পন্দ ও পরবর্তী সুস্পন্দ বিন্দুর দূরত্ব, (iii) দুটি পরপর নিষ্পন্দ বিন্দুর দূরত্ব

নির্ণয় করো।

[Ans. (i) 75 cm, (ii) 37.5 cm, (iii) 75 cm]

2. 100 কম্পাঙ্কের শব্দতরঙ্গমালা একটি দৃঢ় প্রতিফলকে অভিলম্বভাবে আপতিত হয়ে প্রতিফলিত হচ্ছে। দেওয়াল হতে নিম্পন্দ এবং সুস্পন্দ বিন্দুগুলির দূরত্ব কীরূপ হবে? শব্দের গতিবেগ = 340 m/s.

[Ans. নিম্পন্দ বিন্দু = 1.7 m, 3.4 m, 5.1 m সুস্পন্দ বিন্দু = 0.85 m, 2.55 m, 4.25 m]

3. $y = a \cos kx \sin kt$ সমীকরণটি একটি স্থাণুতরঙ্গ বোঝায়। তার তরঙ্গদৈর্ঘ্য ও কম্পাঙ্ক কত?

[Ans. $\frac{2\pi}{k}$; $\frac{vk}{2\pi}$]

4. দুটি চলতরঙ্গের প্রভাবে $x=0$ অবস্থানে মাধ্যমের একটি কণার সরণ যথাক্রমে $y_1 = \sin 4\pi t$ এবং $y_2 = \sin 2\pi t$ । 1 সেকেন্ডে কতবার কণাটির লম্বি সরণ শূন্য হবে? [Ans. 4 বার]

5. একটি দীর্ঘ অনুভূমিক তারের একপ্রান্তকে উপর নীচে মোট 16 cm নাড়িয়ে তারে তির্যক কম্পন সৃষ্টি করা হল। ঐভাবে সেকেন্ডে 2 বার নাড়ানো হচ্ছে। তারের ভর 8 g/cm এবং টান 10 g wt হলে, তরঙ্গের গতিবেগ, বিস্তার ও তরঙ্গদৈর্ঘ্য নির্ণয় করো। [Ans. 35 cm/s; 8 cm; 17.5 cm]

6. 1 kg ভর দ্বারা টান দেওয়া একটি তারের কম্পাঙ্ক 320 কম্পাঙ্কের একটি সুরশলাকার সাথে সমসূর। 256 কম্পাঙ্কের সুরশলাকার সাথে সমসূর হতে গেলে তার টানের কী পরিবর্তন করতে হবে? [Ans. 0.36 kg কমাতে হবে]

7. 36 cm দীর্ঘ একটি তার 256 কম্পাঙ্কের একটি সুরশলাকার সাথে সমসূর। ঐ তারের 40 cm দৈর্ঘ্য অপর একটি সুরশলাকার সাথে সমসূর। ঐ দ্বিতীয় সুরশলাকার কম্পাঙ্ক কত? [Ans. 230.4]

8. টানা দেওয়া কোনো তারের মূল কম্পাঙ্ক 250/s। দৈর্ঘ্য দ্বিগুণ করা হল এবং টানও এমনভাবে বাড়ানো হল যে মূল কম্পাঙ্ক একই থাকে। নতুন ও পূর্বের টানের মধ্যে সম্পর্ক বের করো। [Ans. 4 : 1]

9. একই নমুনার (একক দৈর্ঘ্যে সমান ভরবিশিষ্ট) দুটি তার টান অবস্থায় আছে। একটির দৈর্ঘ্য অপরটির দ্বিগুণ। কিন্তু তারা পরস্পর অনুনাদ উৎপন্ন করছে। তাদের টানের তুলনা করো। [Ans. 4 : 1]

10. একটি বেহালার তারের দৈর্ঘ্য 24 cm হলে মূলসুর নির্গত হয়। পরবর্তী অর্ধক সুর উৎপন্ন করতে কত দৈর্ঘ্য প্রয়োজন হবে? [Ans. 12 cm]

11. m ভরবিশিষ্ট একটি সূত্রে হতে M ভরের ($M \gg m$) একটি পিণ্ড ঝোলানো আছে। সরল দোলক হিসাবে দোলালে তার পর্যায়কাল হয় T_1 । পিণ্ডটিকে স্থির রেখে সূতোর তির্যক কম্পন সৃষ্টি করলে তার মূলসূরের পর্যায়কাল হয় T_2 । প্রমাণ কর $T_1/T_2 = \pi\sqrt{M/m}$.

[সংকেত : $T_1 = 2\pi\sqrt{l/g}$; $T_2 = 2l\sqrt{m/M.g.l}$]

12. একটি তার 80 কম্পাঙ্কের সুর উৎপন্ন করছে। ঐ তারের টান 1 : 9 অনুপাতে এবং দৈর্ঘ্য 1 : 2 অনুপাতে বৃদ্ধি করলে, তা কত কম্পাঙ্কের সুর সৃষ্টি করবে? [Ans. 120]

13. একই উপাদানে তৈরি দুটি তারের দৈর্ঘ্যের অনুপাত 2 : 3; তাদের ব্যাস সমান হলে এবং স্বয়ং তার কতক সূচী মূলসূরের কম্পাঙ্ক দীর্ঘ তারের মূলসূরের কম্পাঙ্কের এক অর্ধক উর্ধ্ব থাকলে তাদের টানের অনুপাত কত? [Ans. 16:9]

14. 0.9 mm ব্যাসের একটি সেনামিটার তারের বদলে একই উপাদানের কিন্তু 0.93 mm ব্যাসের আর একটি তার ব্যবহার করা হল। টান একই থাকলে, তাতে মূলসূরের কম্পাঙ্কের শতকরা পরিবর্তন কী হবে? [Ans. -3.2%]

[সংকেত : $n = \frac{K}{d}$; $K =$ ধ্রুবক; $d =$ ব্যাস; প্রথমবার, $n_1 = \frac{10K}{9}$; দ্বিতীয়বার $n_2 = \frac{10K}{9.3}$; অতএব, শতকরা

পরিবর্তন $= \frac{n_2 - n_1}{n_1} \times 100$]

15. অজ্ঞাত কম্পাঙ্কের একটি সুরশলাকা 384 কম্পাঙ্কের একটি প্রমাণ সুরশলাকার সাথে সেকেন্ডে 3টি স্বরকম্প তৈরি করে। প্রথম সুরশলাকার বাহুতে একটি মোমের টুকরো লাগালে, স্বরকম্পের সংখ্যা হ্রাস পায়। ঐ শলাকার কম্পাঙ্ক কত? [Ans. 387]

16. দুটি সুরশলাকাকে একসঙ্গে কম্পিত করলে 5টি স্বরকম্প শোনা যায়। একটি শলাকার কম্পাঙ্ক 295 Hz. অন্য শলাকার বাহুতে একটু মোম লাগিয়ে আবার উভয়কে একসঙ্গে কম্পিত করা হল। এবার 3টি স্বরকম্প শোনা গেল। দ্বিতীয় সুরশলাকার কম্পাঙ্ক কত? [Ans. 300]

17. A এবং B দুটি সুরশলাকা একসঙ্গে কম্পিত হলে 4টি স্বরকম্প উৎপন্ন করে। B সুরশলাকাতো কিছু মোম লাগালে স্বরকম্পের সংখ্যা হয় 6; মোমের পরিমাণ কিছু কমালে, স্বরকম্পের সংখ্যা 4-এ নেমে আসে। A শলাকার

কম্পাঙ্ক 256 হলে B-এর কত?

[Ans. 260]

18. একই টানে রাখা দুটি একই ধরনের তারের মূলসূরের কম্পাঙ্ক 600; একটি তারের টানের কত অংশ বৃদ্ধি করলে, সেকেন্ডে 6টি স্বরকম্প শোনা যাবে যখন তার দুটি একইসঙ্গে কম্পিত হয়? [Ans. 0.02]

19. বন্ধ এবং খোলা দুটি নলই 25 cm দীর্ঘ; তাদের মূলসূরে কম্পাঙ্ক কত হবে? শব্দের গতিবেগ = 336 m/s. [Ans. 336; 672 (প্রায়)]

20. 100 cm দীর্ঘ একটি অর্গান নলে মূলসূরের কম্পাঙ্ক 200 cm দীর্ঘ একটি তারের কম্পাঙ্কের সাথে সমসূর। ঐ তারের প্রতি সেন্টিমিটার দৈর্ঘ্যের ভর 1 g এবং বায়ুতে শব্দের গতিবেগ = 330 m/s. তারের টান নির্ণয় করো। [Ans. 4356×10^6 dyne]

21. একমুখ বন্ধ একটি অর্গান নলের দৈর্ঘ্য 90 cm. মূলসূরের ঠিক পরবর্তী সমমেলের কম্পাঙ্ক নির্ণয় করো। (বায়ুতে শব্দের বেগ = 300 m/s) [Ans. 250]

22. একটি গ্যাসের মধ্যে দুটি তরঙ্গ 3 সেকেন্ডে 10টি স্বরকম্প সৃষ্টি করে; তাদের তরঙ্গদৈর্ঘ্য যথাক্রমে 1 m ও 1.01 m. ঐ মাধ্যমে শব্দের বেগ নির্ণয় করো। [Ans. 336.67 ms^{-1}]

[সংকেত : $V = n_1 \times 1 = n_2 \times 1.01$; $n_1 - n_2 = \frac{10}{3}$]

23. 24টি সুরশলাকা ক্রমবর্ধমান কম্পাঙ্ক হিসাবে পরপর সাজানো আছে। যে-কোনো সুরশলাকা তার পরবর্তী শলাকার সাথে সেকেন্ডে 4টি স্বরকম্প তৈরি করে। শেষ সুরশলাকাটি যদি প্রথমটির অর্ধেক হয়, তবে প্রথম ও শেষ শলাকা দুটির কম্পাঙ্ক নির্ণয় করো। [Ans. 92, 184]

24. দুটি সুরশলাকা একসঙ্গে কম্পিত করলে সেকেন্ডে 6টি স্বরকম্প হয়। তারা একইরকম একগাছা ঠিথর টানের 90 cm এবং 91 cm দৈর্ঘ্যের সঙ্গে যথাক্রমে সমসূর। সুরশলাকা দুটির কম্পাঙ্ক কত? [Ans. 546; 540]

[সংকেত : $\frac{n_1}{n_2} = \frac{91}{90}$ এবং $n_1 - n_2 = 6$]

25. 75 cm দীর্ঘ একটি তার একটি ফর্কের সাথে অনুদানী। তারের দৈর্ঘ্য 3 cm কমালে সেটা ফর্কের সাথে সেকেন্ডে 6টি স্বরকম্প উৎপন্ন করে। ফর্কের কম্পাঙ্ক নির্ণয় করো। [Ans. 144]

26. A ও B দুটি সুরশলাকা একত্র কম্পিত হলে প্রতি সেকেন্ডে 5টি স্বরকম্প উৎপন্ন হয়। নির্দিষ্ট একটি টানে একটি তারের 40 cm দৈর্ঘ্যের কম্পাঙ্ক A সুরশলাকার সাথে সমসূর এবং B সুরশলাকার কম্পাঙ্ক সমটানে ঐ তারের 40.5 cm দৈর্ঘ্যের কম্পাঙ্কের সাথে সমসূর। সুরশলাকাদ্বয়ের কম্পাঙ্ক নির্ণয় করো। [Ans. 405, 400]

27. A এবং B দুটি সুরশলাকা একই সঙ্গে কম্পিত করলে 5টি স্বরকম্প সৃষ্টি হয়। যদি A এবং B উভয়েই একটি একমুখ বন্ধ নলের যথাক্রমে 36 cm এবং 37 cm বায়ুস্তম্ভের সাথে অনুদান সৃষ্টি করে, তাহলে সুরশলাকা দুটির কম্পাঙ্কের অনুপাত নির্ণয় করো। [Ans. 37 : 36]

28. একটি মুখখোলা অর্গান নলের দৈর্ঘ্য একটি বন্ধ অর্গান নলের দৈর্ঘ্যের দ্বিগুণ। যদি খোলা নলের মূল কম্পাঙ্ক 100 Hz হয় তবে বন্ধ নলের তৃতীয় সমমেলের কম্পাঙ্ক কত? [Jt. Entrance 1992] [Ans. 300]

29. 60 cm দীর্ঘ টানা দেওয়া তার যখন মূলসূর উৎপন্ন করে কম্পিত হচ্ছে তখন 295 কম্পাঙ্কের একটি সুরশলাকাকে ঐ তারের পাশে রাখলে সেকেন্ডে 5টি স্বরকম্প উৎপন্ন হয়। তারের টান একটু বাড়ালে, স্বরকম্পের সংখ্যা বৃদ্ধি পায়। শব্দের গতিবেগ কত? [Ans. 360 m/s]

[সংকেত : $\lambda = 2l$ এবং $V = n\lambda$]

30. এক মুখ বন্ধ দুটি অর্গান নল একসঙ্গে মূলসূর উৎপন্ন করে তখন 5টি স্বরকম্প তৈরি হয়। নল দুটির দৈর্ঘ্যের অনুপাত 50 : 51 হলে, তাদের মূলসূরের কম্পাঙ্ক নির্ণয় করো। [Ans. 255, 250]

কঠিন গাণিতিক প্রশ্ন

1. দুটি দৃঢ় অবলম্বনের ভিতর একগাছা তামার তার আটকানো আছে। 30°C তাপমাত্রার তারটি ঠিক টান হয়ে থাকে এবং টানের পরিমাণ প্রায় শূন্য। 10°C তাপমাত্রায় তার দিয়ে যে তির্যক তরঙ্গ যাবে তার গতিবেগ নির্ণয় করো। তামার $Y = 1.3 \times 10^{11} \text{ N/m}^2$; $\alpha = 1.7 \times 10^{-5}/^\circ\text{C}$ এবং ঘনত্ব = $9 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$. [Ans. 70 m/s (প্রায়)]

2. 0.05 g/cm রৈখিক ঘনত্বের একটি তার দুটি অবলম্বনের ভিতর 4.5×10^7 dyne বলে টান করা আছে। তারটি 420 কম্পাঙ্কের সাথে সমসূর। পরবর্তী যে কম্পাঙ্কের সাথে তারটি অনুদান সৃষ্টি করে তা হল 490। তারটির দৈর্ঘ্য [Ans. 214.3 cm]

3. 50 cm দীর্ঘ একটি তার টান করে আটকানো আছে। তারের ভর 2 g; তারটি তির্যক কম্পনে কম্পিত হলে মূলসূরের কত?

কম্পাঙ্ক হয় 440 ; তারটির কোথায় আজুল চাপলে 528 কম্পাঙ্কের সুর নির্গত হবে?

[Ans. প্রান্ত হতে 8.3 cm দূরে]

4. একটি তারের দুই প্রান্ত দৃঢ়ভাবে আবদ্ধ। তারের তাপমাত্রা 10°C হ্রাস পেল। এতে যে টানের পরিবর্তন হল তার জন্য তারে তির্যক কম্পনের মূলসূরের কম্পাঙ্ক দ্বিগুণ হল। প্রাথমিক বা মূল টানের মান কত ছিল? তারের প্রস্থচ্ছেদ = 0.01 cm^2 ; $\alpha = 16 \times 10^{-6}/^\circ\text{C}$ এবং $Y = 20 \times 10^{11}\text{ dyne/cm}^2$.

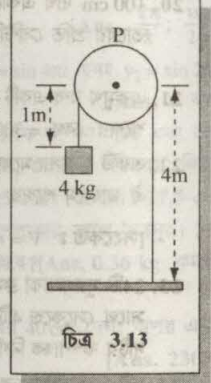
[Ans. $8 \times 10^5\text{ dyne}$]

5. 12 metre দীর্ঘ এবং 6 kg ভরের একটি সুখম দড়ি দৃঢ় অবলম্বন হতে খাড়া ঝুলছে। দড়ির নিম্ন প্রান্তে 2 kg ভরের একটি ব্লক যুক্ত করা হল। দড়ির ঐ প্রান্তে 0.06 m তরঙ্গদৈর্ঘ্যের একটি তির্যক তরঙ্গ উৎপন্ন করা হল। ঐ তরঙ্গ যখন দড়ির শীর্ষপ্রান্তে পৌঁছাবে তখন তার দৈর্ঘ্য কত হবে?

[Ans. 0.12 metre]

6. 3.13 নং চিত্র অনুযায়ী 4 kg ভরকে কপিকল P হতে ঝোলানো আছে। সুতোর অপর প্রান্ত মাটিতে আবদ্ধ। মাটিতে কোনো তির্যক তরঙ্গ উৎপন্ন করলে, ঐ তরঙ্গ মাটি হতে কপিকল পর্যন্ত পৌঁছাতে কত সময় নেবে? $g = 10\text{ m/s}^2$ এবং সুতোর ভর = 20 g

[Ans. 0.04 s]



চিত্র 3.13

[সংকেত : $V = \sqrt{\frac{T}{m}}$; $T = 4 \times 10\text{ N}$; $m = \frac{20 \times 10^{-3}}{5}\text{ kg/m}$;

t সময় হলে $4 = V \times t$]

7. 100 cm দূরত্বে রাখা দুটি অবলম্বনে 9 g/cm^3 ঘনত্বের একগাছা তারকে আটকানো হল। এতে তারের দৈর্ঘ্যবৃদ্ধি হল 0.05 cm ; তার তির্যক কম্পনে কম্পিত হলে, নিম্নতম কম্পাঙ্ক কত? তারের উপাদানের ইয়ং গুণাঙ্ক = $9 \times 10^{11}\text{ dyne/cm}^2$.

[Ans. 35.4 (প্রায়)]

8. 25 cm ব্যবধান রাখা দুটি ব্রীজের উপর একটি তার রেখে তাতে টান প্রয়োগ করে 0.04 cm দৈর্ঘ্য প্রসারণ ঘটানো হল। তারের বস্তুর ঘনত্ব এবং ইয়ং গুণাঙ্ক যথাক্রমে 10 g/cm^3 এবং $9 \times 10^{11}\text{ dyne/cm}^2$ হলে, ঐ টানে রাখা তারের মূলসূরের কম্পাঙ্ক নির্ণয় করো।

[Jt. Entrance 1987] [Ans. 240]

9. একই দৈর্ঘ্যের তিনটি তার আছে। তাদের আপেক্ষিক ভরের অনুপাত 2 : 8 : 18 এবং টানের অনুপাত 12 : 12 : 27. তাদের তির্যক কম্পনের কম্পাঙ্ক কত?

[Jt. Entrance 1983] [Ans. 2 : 1 : 1]

10. r এবং $2r$ ব্যাসার্ধের দুটি তারের এক প্রান্ত গুলিয়ে জুড়ে দেওয়া হল। সংযুক্ত তারকে T টান প্রয়োগ করা হল। তার দুটির সংযোগ বিন্দু দুটি সেতুর ঠিক মাঝখানে অবস্থিত। তার দুটিতে স্থাণুতরঙ্গ সৃষ্টি করলে সংযোগ বিন্দুতে একটি নিম্নস্পন্দ বিন্দু সৃষ্টি হয়। তার দুটিতে গঠিত লুপের সংখ্যার অনুপাত নির্ণয় করো।

[Ans. 1 : 2]

11. একটি বোর্ডের উপর দুটি তার খাটানো আছে। তাদের টানের অনুপাত 8 : 1. দৈর্ঘ্যের অনুপাত 36 : 35, ব্যাসের অনুপাত 4 : 1 এবং ঘনত্বের অনুপাত 1 : 2 ; সর্বাধিক কম্পাঙ্কটি 360 হলে, তার দুটি সেকেন্ডে কয়টি স্বরকম্প তৈরি করবে?

[Jt. Entrance 1989] [Ans. 10]

12. একটি সুরশলাকা 95 cm এবং 100 cm দৈর্ঘ্যের টান করা তারের সাথে প্রতি সেকেন্ডে 10টি স্বরকম্প সৃষ্টি করে। সুরশলাকার কম্পাঙ্ক কত?

[Ans. 390]

13. একটি তারের স্থিতিস্থাপকরূপে শতকরা 0.04 ভাগ দৈর্ঘ্য বৃদ্ধি করা হল। ঐ তারে তির্যক ও অনুদৈর্ঘ্য তরঙ্গের গতিবেগের অনুপাত নির্ণয় করো।

[Ans. 1 : 50]

14. একজন ডুবুরি জলের তলা হতে উপরতলে একটি শব্দ সংকেত পাঠাল। তাকে 20 cm দীর্ঘ একটি বন্ধ নলের মূলসূরের সাথে তুলনা করলে 5টি স্বরকম্প পাওয়া যায়। জলে শব্দতরঙ্গের দৈর্ঘ্য কত? বায়ুতে শব্দের গতিবেগ = 360 metre/s এবং জলে গতিবেগ = 1500 metre/s . [Jt. Entrance 1996] [Ans. 3.3 বা 3.37 metre]

15. নিম্নলিখিত তরঙ্গদ্বয় সমাপতিত হলে, কয়টি স্বরকম্প তৈরি হবে নির্ণয় করো :

$$y_1 = 11 \cos(400\pi t - \pi x)$$

$$y_2 = 9 \cos(410\pi t - 1.02\pi x)$$

[Ans. 5]

16. দুটি সুরশলাকা A এবং B প্রতি 2 সেকেন্ডে 6টি স্বরকম্প উৎপন্ন করে। A সুরশলাকার কম্পাঙ্ক 432 : B-কে উঠে দ্বারা ঘনলে আবার 2 সেকেন্ডে 6টি স্বরকম্প পাওয়া যায়। B-সুরশলাকার কম্পাঙ্ক (i) ঘটার পূর্বে এবং (ii) পরে কত নির্ধারণ করো। [Ans. (i) 429, (ii) 435]
17. একটি বন্ধ অর্গান নলে তৃতীয় সম্মেল কম্পাঙ্ক একটি খোলা অর্গান নলের প্রথম সম্মেল কম্পাঙ্কের সাথে অনুবাদ সৃষ্টি করে। নল দুটির দৈর্ঘ্যের অনুপাত কত? [Ans. 3 : 2]
18. 1.5 m দীর্ঘ একমুখ বন্ধ একটি নল গ্যাসপূর্ণ আছে এবং নলের মূলসুর একটি সুরশলাকার সাথে সমসুর। অপর একটি সমদৈর্ঘ্যের খোলা নল বায়ুপূর্ণ এবং ঐ নলের মূলসুরও একই সুরশলাকার সাথে সমসুর। ঐ সময়ের তাপমাত্রা 30°C এবং ঐ তাপমাত্রায় বায়ুতে শব্দের বেগ 360 m/s হলে 0°C তাপমাত্রায় ঐ গ্যাসে শব্দের বেগ কত হবে? [Ans. 683.4 ms⁻¹]
19. একটি খোলা অর্গান নলে মূলসুরের কম্পাঙ্ক 300 : একটি বন্ধ নলের প্রথম সম্মেলে উপরোক্ত খোলা নলের প্রথম সম্মেলের সাথে অনুবাদ তৈরি করে। প্রত্যেকটি নলের দৈর্ঘ্য কত? শব্দের বায়ুতে বেগ = 330 metre/s. [Ans. 55 cm ; 27.5 cm]
20. 25 cm দীর্ঘ এবং 2.5 g ভরযুক্ত একটি তার টান করা আছে। একটি 40 cm দীর্ঘ বন্ধ নল নেওয়া হল। তার যখন প্রথম উপসুর উৎপন্ন করে এবং নল মূলসুর উৎপন্ন করে তখন উভয়ে সেকেন্ডে 8টি স্বরকম্প দেয়। দেখা যায় যে তারের টান কমালে স্বরকম্পের সংখ্যাও কমে। বায়ুতে শব্দের গতিবেগ = 320 metre/s হলে, তারের টান কত? [Ans. 27 × 10⁵ dyne (প্রায়)]

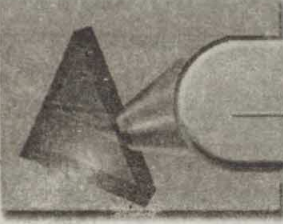
□ M.C.Q. প্রশ্নের উত্তর □

(A)

- | | | | | | |
|---------|----------|---------|----------|-----------|-----------|
| (i) A | (v) B | (ix) B | (xiii) C | (xvii) B | (xxi) B |
| (ii) C | (vi) B | (x) B | (xiv) C | (xviii) A | (xxii) C |
| (iii) C | (vii) C | (xi) A | (xv) B | (xix) B | (xxiii) B |
| (iv) B | (viii) D | (xii) B | (xvi) A | (xx) C | (xxiv) A |

(B) [i] 2f, [ii] অষ্টক, [iii] কম, [iv] দ্বিগুণ, [v] কম, [vi] সম্মেল।

(C) [i] ভুল, [ii] নির্ভুল, [iii] ভুল, [iv] নির্ভুল, [v] নির্ভুল, [vi] নির্ভুল।



ভৌত আলোক বিজ্ঞান

[PHYSICAL OPTICS]

4.1. ভূমিকা (Introduction) :

আলোক বিজ্ঞান দুই অংশে বিভক্ত : (i) জ্যামিতিক আলোক বিজ্ঞান এবং (ii) ভৌত আলোকবিজ্ঞান। জ্যামিতিক আলোক বিজ্ঞান সম্বন্ধে আমরা ইতিপূর্বে আলোচনা করেছি।

জ্যামিতিক আলোকবিজ্ঞানে আমরা আলোর যে সকল ধর্মের কথা আলোচনা করেছি, যেমন আলোর স্বাভাবিক গতি, প্রতিফলন, প্রতিসরণ ইত্যাদি তাতে আলোর প্রকৃতি সম্বন্ধে কোনো প্রশ্ন উঠে না। জ্যামিতিক আলোক বিজ্ঞানের সকল ঘটনাই ব্যাখ্যা করা যায় যদি আমরা ধরে নিই যে আলো রশ্মির আকারে সরল রেখায় গমনাগমন করে। কিন্তু ভৌত আলোক বিজ্ঞানে ‘আলোর প্রকৃতি কী’? এই প্রশ্নের আলোচনা করা হয়। আলোর প্রকৃতি সম্বন্ধে বিভিন্ন সময়ে বিভিন্ন তত্ত্ব উপস্থাপিত করা হয়েছে। এই তত্ত্বগুলির ভিতর আলোর তরঙ্গতত্ত্ব খুবই গুরুত্বপূর্ণ। ভৌত আলোক বিজ্ঞানের এই পরিচ্ছেদে আমরা আলোর তরঙ্গ-প্রকৃতি এবং তরঙ্গ-প্রকৃতির ওপর নির্ভর করে একটি আলোকীয় ঘটনা যেমন, ব্যতিচার (interference) আলোচনা করব।

একথা স্মরণ রাখা প্রয়োজন যে আলো তড়িচ্চুম্বকীয় তরঙ্গ ; যান্ত্রিক স্থিতিস্থাপক তরঙ্গ নয়। এক্স রশ্মি, গামা রশ্মি ইত্যাদি এই তড়িচ্চুম্বকীয় তরঙ্গ গোষ্ঠীর অন্তর্গত।

বিভিন্ন তড়িচ্চুম্বকীয় তরঙ্গের তরঙ্গদৈর্ঘ্য ও কম্পাঙ্ক (Wave lengths and frequencies of different electromagnetic waves)

বিভিন্ন তড়িৎ চুম্বকীয় তরঙ্গের তরঙ্গদৈর্ঘ্য এবং কম্পাঙ্ক বিভিন্ন।

(i) **বেতার তরঙ্গ (Radio waves)** : এই তরঙ্গের তরঙ্গ দৈর্ঘ্যের সীমা কয়েক কিলোমিটার থেকে 0.3 m পর্যন্ত এবং কম্পাঙ্ক সীমা কয়েক হার্টস থেকে 10^9 Hz পর্যন্ত। বেতার, টেলিভিশন প্রভৃতির কার্যে এই তরঙ্গ ব্যবহার করা হয়।

(ii) **মাইক্রোওয়েভস বা অণু তরঙ্গ (Micro waves)** : এই তরঙ্গগুলির তরঙ্গদৈর্ঘ্যের সীমা 0.3 m থেকে 10^{-3} m পর্যন্ত এবং কম্পাঙ্ক সীমা 10^9 Hz থেকে 10^{11} Hz পর্যন্ত। রাদার এবং অন্যান্য যোগাযোগ পদ্ধতিতে (communication system) মাইক্রোওয়েভের ব্যবহার আছে। একে UHF (ultra high frequency) তরঙ্গও বলা হয়।

(iii) **দৃশ্যমান আলোকতরঙ্গ (Visible light waves)** : চোখে ধরা পড়ে যেসকল তড়িচ্চুম্বকীয় আলোক তরঙ্গ — লাল থেকে বেগুনি — তাদের তরঙ্গ দৈর্ঘ্যের পাল্লা $7.8 \times 10^{-7} \text{ m}$ থেকে $3.8 \times 10^{-7} \text{ m}$ পর্যন্ত এবং কম্পাঙ্কের পাল্লা $4 \times 10^{14} \text{ Hz}$ থেকে $8 \times 10^{14} \text{ Hz}$ পর্যন্ত।

(iv) **অতিবেগুনি আলোকতরঙ্গ (Ultra violet waves)** : দৃশ্যমান আলোর সর্বাপেক্ষা ক্ষুদ্র তরঙ্গদৈর্ঘ্যের আলো-কে বলা হয় অতিবেগুনি তরঙ্গ। এদের তরঙ্গ দৈর্ঘ্যের পাল্লা $3.8 \times 10^{-7} \text{ m}$ থেকে $6 \times 10^{-10} \text{ m}$ পর্যন্ত এবং কম্পাঙ্কের পাল্লা $8 \times 10^{14} \text{ Hz}$ থেকে $3 \times 10^{17} \text{ Hz}$ পর্যন্ত। সূর্য দেহ অতিবেগুনি আলোক তরঙ্গের একটি প্রধান উৎস।

(v) **গামা রশ্মি (Gamma rays)** : তেজস্ক্রিয় পদার্থের নিউক্লিয়াস বিঘটনে গামা রশ্মির উদ্ভব হয়। এদের তরঙ্গ দৈর্ঘ্যের সীমা 10^{-10} m থেকে 10^{-14} m অথবা আরও কিছু কম এবং কম্পাঙ্ক সীমা

3×10^{18} Hz থেকে 3×10^{22} Hz অথবা আরও কিছু বেশি।

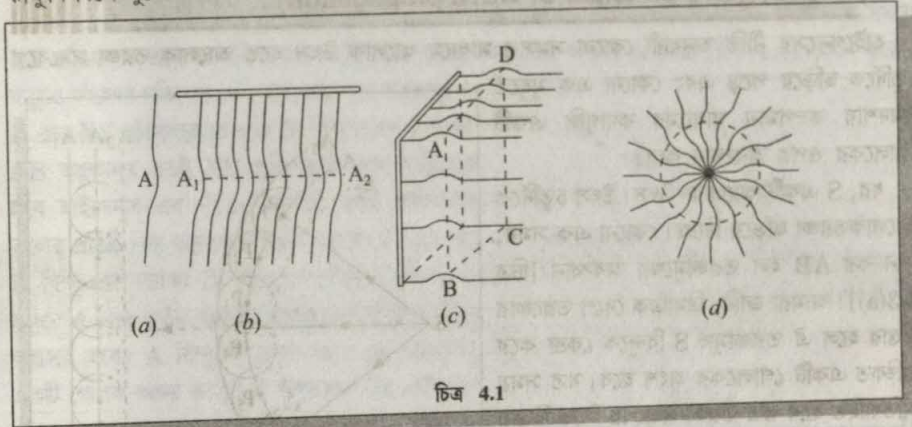
(vi) এক্সরশ্মি (X-rays) : W. Rontgen 1895 খ্রিস্টাব্দে X-রশ্মি আবিষ্কার করেন। এক্সরশ্মির তরঙ্গ দৈর্ঘ্যের পাল্লা 10^{-9} m থেকে 6×10^{-12} m পর্যন্ত এবং কম্পাঙ্ক পাল্লা 3×10^{17} Hz থেকে 5×10^{19} Hz পর্যন্ত।

4.2. তরঙ্গামুখ (Wave front) :

কোনো মাধ্যমে আন্দোলন সৃষ্টি করলে, মাধ্যমের কণাগুলি আন্দোলিত হতে থাকে। যে-কোনো মুহূর্তে সমদশা সম্পন্ন কণাগুলির সম্ভার পথকে (locus) তরঙ্গামুখ বলা হয়।

কোনো স্থির জলাশয়ের জলে আন্দোলন সৃষ্টি করে তরঙ্গ উৎপন্ন করলে, ঐ তরঙ্গের তরঙ্গামুখ বৃত্তাকার হয়, এটা তোমরা বোধ হয় লক্ষ্য করেছ। নীচের বিবরণ থেকে তরঙ্গামুখের পরিষ্কার ধারণা হবে।

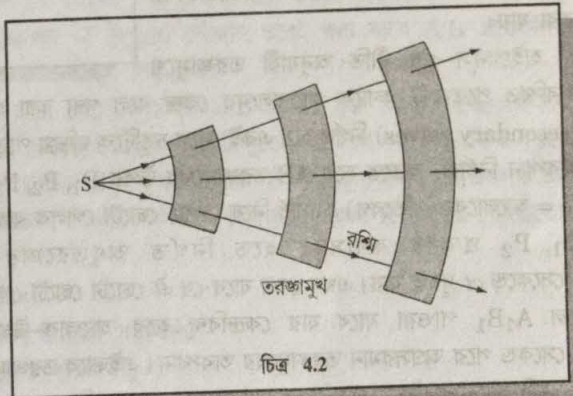
ধরো, বুলবুল একটি স্থিতিস্থাপক সূতোয় একটি বিন্দু A নেওয়া হল (চিত্র 4.1(a))। ঐ সূতোয় ঝাঁকুনি দিলে সূতো বরাবর একটি তির্যক তরঙ্গ চলে যাবে। এক্ষেত্রে তরঙ্গামুখ হবে বিন্দু। এবার মনে



চিত্র 4.1

করো, একইরকম কতকগুলো স্থিতিস্থাপক সূতো একটি দণ্ড থেকে পাশাপাশি ঝুলানো আছে। এখন ঐ দণ্ডকে সূতোর দৈর্ঘ্যের অভিলম্ব দিকে আন্দোলিত করলে প্রত্যেকটি সূতো বরাবর তির্যক তরঙ্গ চলে যাবে এবং তরঙ্গ মুখ হবে একটি সরলরেখা ; কারণ A_1 থেকে A_2 পর্যন্ত সকল বিন্দুগুলি একই দশায় কম্পিত হবে [চিত্র 4.1(b)]। এবার

ঐ সূতোগুলি একটি দণ্ড থেকে না বুলিয়ে একটি প্লেটে সমভাবে আবদ্ধ করে, প্লেটকে নিজের সমান্তরালে আন্দোলিত করলে, তরঙ্গ মুখ একটি সমতল ABCD-এর আকার পাবে [চিত্র 4.1(c)]। তেমনি একটি বিন্দুতে অনেকগুলি একইরকম সূতো আবদ্ধ করে আন্দোলিত করলে আমরা ত্রিমাত্রিক দেশে গোলায় তরঙ্গামুখ (spherical wave front) পাব [চিত্র 4.1(d)]।



চিত্র 4.2

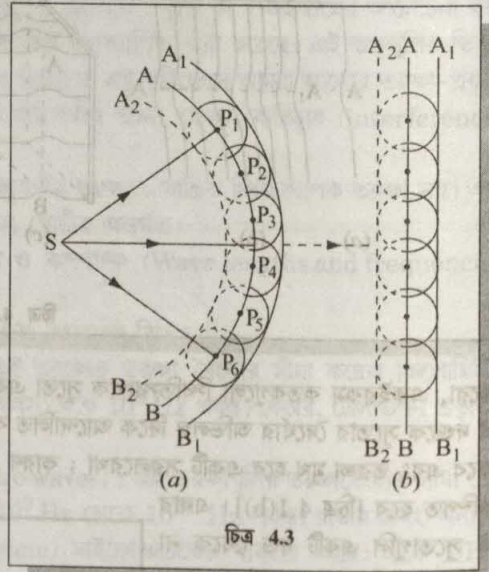
কোনো সমসত্ত্ব মাধ্যমে তরঙ্গমুখ সর্বদা নিজের সমান্তরালে অগ্রসর হয় এবং আলোকরশ্মি ঐ তরঙ্গমুখের অভিলম্ব হয়। একথা মনে রাখতে হবে যে, কোনো কণা ত্রিমাত্রিক দেশে কম্পিত হলে চতুর্দিকস্থ কণাতে ঐ কম্পন হস্তান্তরিত হয় এবং তরঙ্গ চতুর্দিকে মাধ্যমে ত্রিমাত্রিক দেশে পরিব্যাপ্ত হয়ে পড়ে। যদি মাধ্যম সমসত্ত্ব (homogeneous) হয় তবে তরঙ্গ চতুর্দিকে সমবেগে ছড়িয়ে পড়ে। উৎস বিন্দুকে কেন্দ্র করে একটি গোলক কল্পনা করলে তরঙ্গগুলি কোনো এক সময়ে ঐ গোলকের উপরিস্থ সকল বিন্দুতে উপস্থিত হয়। অর্থাৎ এক্ষেত্রে গোলাীয় তরঙ্গমুখ পাওয়া যায়। গোলাীয় তরঙ্গমুখ যত উৎস থেকে দূরে চলে যায় তত তার বক্রতা হ্রাস পায়—অর্থাৎ বক্রতা—ব্যাসার্ধ বৃদ্ধি পায়। অবশেষে ঐ গোলাীয় তরঙ্গমুখের ব্যাসার্ধ খুব বৃহৎ হলে, তরঙ্গমুখের ক্ষুদ্র অংশকে সমতল তরঙ্গমুখ (plane wave front) বলে গণ্য করা যেতে পারে (চিত্র 4.2)। তরঙ্গ সমতল হোক কি গোলাীয় হোক—সকল ক্ষেত্রে, একই কম্পনতলে অবস্থিত পরপর দুটি তরঙ্গমুখের অভ্যন্তরস্থ লম্ব-দূরত্বকে ঐ তরঙ্গের তরঙ্গদৈর্ঘ্য বলা হয়।

4.3.

তরঙ্গের বিস্তার সম্পর্কে হাইগেন্সের নীতি (Huygen's principle of wave propagation):

হাইগেন্সের নীতি অনুযায়ী কোনো সমসত্ত্ব মাধ্যমে আলোক উৎস হতে আলোক তরঙ্গ সমবেগে চতুর্দিকে ছড়িয়ে পড়ে এবং কোনো এক মুহূর্তে সমদশায় কম্পমান মাধ্যমের কণাগুলি একটি গোলকের ওপর অবস্থান করে।

ধর, S একটি আলোক-উৎস। উৎস চতুর্দিকে আলোকতরঙ্গ ছড়িয়ে দিচ্ছে। কোনো এক সময়, মনে কর AB হল তরঙ্গমুখের অবস্থান [চিত্র 4.3(a)]। আমরা জানি, ত্রিমাত্রিক দেশে তরঙ্গের বিস্তার হলে ঐ তরঙ্গমুখ S বিন্দুকে কেন্দ্র করে অঙ্কিত একটি গোলকের অংশ হবে। যত সময় অতিবাহিত হবে তত তরঙ্গ সম্মুখের দিকে বিস্তার লাভ করবে এবং তরঙ্গমুখও নিজের সমান্তরালে সম্মুখের দিকে অগ্রসর হবে। t সময় পরে তরঙ্গমুখের অবস্থান কোথায় হবে তা হাইগেন্স-এর নীতি প্রয়োগ করে নিম্নলিখিত পদ্ধতিতে নির্ণয় করা যায়।



চিত্র 4.3

হাইগেন্স-এর নীতি অনুযায়ী তরঙ্গমুখে অবস্থিত প্রত্যেকটি কণাকে আন্দোলনের কেন্দ্র বলে গণ্য করা হয়। ঐ কণাগুলি হতে অণুতরঙ্গসমূহ (secondary waves) নির্গত হয়ে একই বেগে চতুর্দিকে ছড়িয়ে পড়ে। সুতরাং t সেকেন্ড পরে তরঙ্গমুখের অবস্থান নির্ধারণ করতে হলে AB তরঙ্গমুখের উপর P_1, P_2, P_3 ইত্যাদি কণাকে কেন্দ্র করে এবং ct (c = আলোকের গতিবেগ) ব্যাসার্ধ নিয়ে ছোটো ছোটো গোলক কল্পনা করতে হবে। ঐ গোলকগুলিই হবে P_1, P_2 প্রভৃতি কণাসমূহ হতে নির্গত অণুতরঙ্গের অবস্থান, কারণ, তরঙ্গগুলি t সেকেন্ডে ct দূরত্ব যায়। এখন দেখা যাবে যে ঐ ছোটো ছোটো গোলকগুলিকে স্পর্শ করে একটি গোলাীয় তল A_1B_1 পাওয়া যাবে যার কেন্দ্রবিন্দু হবে আলোক-উৎস S । এই অবস্থায় A_1B_1 হবে t সেকেন্ড পরে অগ্রসরমান তরঙ্গমুখের অবস্থান। এইভাবে তরঙ্গমুখ ক্রমশ সম্মুখের দিকে অগ্রসর হবে।

যদি আলোক-উৎস হতে তরঙ্গমুখের দূরত্ব খুব বেশি না হয় তবে তরঙ্গমুখ গোলাীয় আকার পাবে

$$\therefore \angle AB'A' = \angle AB'C \dots \dots (i)$$

আবার, $\Delta^{\circ} QQ'B'$ এবং QRB' নিলে

$$\angle QQ'B = \angle QRB' \text{ কারণ উভয়েই সমকোণ}$$

$$\angle QBQ' = \angle QBR' [(i) \text{ নং সমীকরণ থেকে}]$$

$$QB' \text{ সাধারণ বাহু।} \therefore QQ' = QR$$

$$\text{এখন, } PQ + QR = PQ + QQ'$$

$$\text{অথবা, } PR = PQ + QQ'$$

এ থেকে প্রমাণ হয় যে, যে-সময়ে P বিন্দু হতে তরঙ্গ প্রতিফলক তলের অনুপস্থিতিতে R বিন্দুতে উপস্থিত হত, প্রতিফলক তলের উপস্থিতিতে ঐ একই সময়ে তরঙ্গ Q বিন্দুতে প্রতিফলিত হয়ে Q' বিন্দুতে পৌঁছোবে কারণ PR পথ ($PQ + QQ'$) পথের সমান। এইভাবে প্রমাণ করা যায় AB তরঙ্গামুখের অন্যান্য বিন্দু থেকে তরঙ্গ এসে প্রতিফলক তলে আপতিত হলে, বিভিন্ন বিন্দু কর্তৃক প্রতিফলিত হয়ে B'A' তলের বিভিন্ন বিন্দুতে পৌঁছোবে। অর্থাৎ B'A' হবে প্রতিফলিত তরঙ্গামুখ।

প্রতিফলনের সূত্রাবলি প্রমাণ : সহজেই বোঝা যায় যে, $\angle BAB' = \angle AB'A'$ অর্থাৎ আপতিত তরঙ্গামুখ প্রতিফলক তলের সাথে যে কোণ উৎপন্ন করে, প্রতিফলিত তরঙ্গামুখও প্রতিফলক তলের সাথে সেই কোণ উৎপন্ন করে। কিন্তু $\angle BAB' = \angle i$, আপতন কোণ এবং $\angle AB'A' = \angle r$ প্রতিফলিত কোণ। অতএব, $\angle i = \angle r$ ।

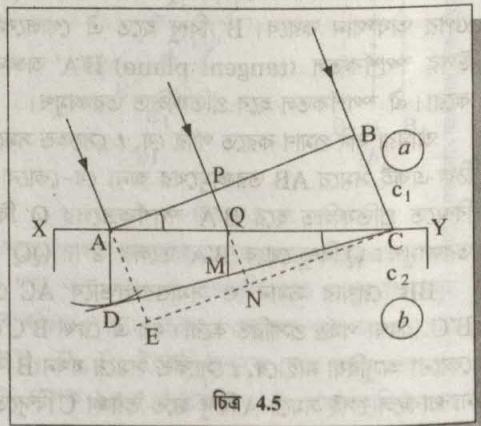
তাহাড়া, আপতিত তরঙ্গামুখের ছেদরেখা, প্রতিফলিত তরঙ্গামুখের ছেদরেখা এবং প্রতিফলক তলের ছেদরেখা কাগজের তলে থাকায়, আপতিত রশ্মি, প্রতিফলিত রশ্মি এবং প্রতিফলক তলের অভিলম্ব—সবই এক সমতলে থাকবে।

4.5.

তরঙ্গ-তত্ত্ব অনুযায়ী আলোর প্রতিসরণ

(Refraction of light according to the wave theory)

XY হল a এবং b মাধ্যমদ্বয়ের ছেদতল। এইতল কাগজের তলের অভিলম্ব [চিত্র 4.5]। ধর, উপরের a মাধ্যমে আলোর গতিবেগ c_1 এবং তলার b মাধ্যমে গতিবেগ c_2 । মনে করো, AB একটি সমতল তরঙ্গামুখের অংশ কাগজের তলের অভিলম্বভাবে XY তলে আপতিত হয়েছে। ধর, t সেকেন্ড সময়ে তরঙ্গামুখের B প্রান্ত হতে অণুতরঙ্গ XY তলকে C বিন্দুতে স্পর্শ করল। তাহলে, $BC = c_1 t$ । ঐ সময়ে A বিন্দু হতে উৎপন্ন অণুতরঙ্গ b মাধ্যমে $AE = BC = c_1 t$ ব্যাসার্ধের গোলকের উপর ছড়িয়ে পড়ার পরিবর্তে c_2 গতিবেগে $AD = c_2 t$ ব্যাসার্ধের গোলকের উপর বিস্তৃত হবে। এক্ষেত্রে, c_1 অপেক্ষা c_2 ছোটো ধরা হয়েছে। এখন, C বিন্দু হতে উক্ত গোলকের উপর CD স্পর্শক-তল আঁকলে, সেটা হবে b মাধ্যমে প্রতিসৃত তরঙ্গামুখ (DC)।



চিত্র 4.5

আমরা যদি প্রমাণ করতে পারি, t সেকেন্ড সময়ে যখন তরঙ্গ A হতে D বিন্দুতে অথবা B হতে C বিন্দুতে পৌঁছায়, সেই একই সময় AB তরঙ্গামুখের বিভিন্ন বিন্দু হতে তরঙ্গ b মাধ্যমে প্রতিসৃত হয়ে CD তলের বিভিন্ন বিন্দুতে পৌঁছায়, তবেই বলা যাবে CD তল প্রতিসৃত তরঙ্গামুখ।

P বিন্দুতে AB তলের উপর PQN লম্ব টান। ধর, তা প্রতিসারক তল XY-কে Q বিন্দুতে এবং CE-তলকে (তরঙ্গামুখের t সেকেন্ড পরে অবস্থান, যদি উপরের এবং নীচের মাধ্যম এক হত) N বিন্দুতে ছেদ করল। Q হতে CD তলের উপর QM লম্ব টান।

এখন, $\Delta^s ACE$ এবং QCN সদৃশ হওয়ায়, $\frac{AE}{QN} = \frac{AC}{QC}$

আবার, $\Delta^s ACD$ এবং QCM এরাও সদৃশ। অতএব,

$$\frac{AD}{QM} = \frac{AC}{QC} \therefore \frac{AE}{QN} = \frac{AD}{QM} \text{ অথবা } \frac{QM}{QN} = \frac{AD}{AE}$$

দেখা যাচ্ছে যে, AD এবং AE-র ভিতর যে অনুপাত, QM ও QN-এর ভিতরও সেই অনুপাত। সেহেতু D বিন্দু প্রতিসৃত তরঙ্গামুখে অবস্থান করে, সেইহেতু M বিন্দুও উপরিউক্ত অনুপাত-সম্পর্কের দরুন ঐ তরঙ্গামুখে অবস্থান করবে। অর্থাৎ যে t সময়ে তরঙ্গা A হতে যাত্রা করে E বিন্দুর পরিবর্তে D বিন্দুতে পৌঁছাচ্ছে ঐ একই সময়ে P বিন্দু হতে তরঙ্গা যাত্রা করে N বিন্দুর পরিবর্তে CD তলের উপর অবস্থিত M বিন্দুতে পৌঁছাবে। অতএব, বলা যায় CD হচ্ছে সাধারণ প্রতিসৃত তরঙ্গামুখ।

প্রতিসরণ সূত্রের প্রমাণ : আমরা জানি,

$\angle BAC = \angle i$, আপতন কোণ এবং $\angle ACD = \angle r$ প্রতিসরণ কোণ

$$\text{এখন, } \sin i = \sin BAC = \frac{BC}{AC}$$

$$\text{এখন } \sin r = \sin ACD = \frac{AD}{AC}$$

$$\therefore \frac{\sin i}{\sin r} = \frac{BC}{AD} = \frac{c_1 t}{c_2 t} = \frac{c_1}{c_2} = \text{ধুবরাশি।} \dots\dots (i)$$

এটা প্রতিসরণ সংক্রান্ত মেলসূত্র প্রমাণ করে।

আবার, যেহেতু আপতিত তরঙ্গামুখের ছেদরেখা, প্রতিসৃত তরঙ্গামুখের ছেদরেখা এবং প্রতিসারক তলের ছেদরেখা কাগজের তলে অবস্থান করে, সেইহেতু আপতিত রশ্মি, প্রতিসৃত রশ্মি এবং প্রতিসারক তলের অভিলম্ব—সবই এক সমতলে অবস্থান করবে।

● মাধ্যমের প্রতিসরাঙ্ক (Refractive index of a medium) :

a মাধ্যমের সাপেক্ষে b মাধ্যমের প্রতিসরাঙ্ক a_{mb} ধরা হলে, মেল সূত্র হতে

$$\text{আমরা লিখতে পারি, } a_{mb} = \frac{\sin i}{\sin r}$$

$$\text{কিন্তু (i) নং সমীকরণের সহায়তায় পাই, } \frac{\sin i}{\sin r} = \frac{c_1}{c_2}$$

$$\therefore a_{mb} = \frac{c_1}{c_2} = \frac{a \text{ মাধ্যমে আলোর গতিবেগ}}{b \text{ ,, ,, ,,}}$$

এখন, a মাধ্যমের সাপেক্ষে b মাধ্যম ঘনতর হলে (যেমন, বায়ু ও কাচ) $a_{mb} > 1$.

$$\text{অতএব, } \frac{a \text{ মাধ্যমে আলোর গতিবেগ}}{b \text{ ,, ,, ,,}} > 1$$

অর্থাৎ, a মাধ্যমে আলোর গতিবেগ b মাধ্যম অপেক্ষা বেশি। অথবা, ঘন মাধ্যমের তুলনায় লঘু মাধ্যমে আলোর গতিবেগ বেশি হয়। পরীক্ষালব্ধ ফলাফলের সাথে এটা মিলে যায়।

α মাধ্যম যদি শূন্য (vacuum) হয় তবে $\mu = \frac{\text{শূন্য মাধ্যমে আলোর গতিবেগ}}{b \text{ মাধ্যমে } \mu}$, , ,

এখন শূন্য মাধ্যমে আলোর গতিবেগ ধ্রুবক হওয়ায় বলা যায়, b মাধ্যমের প্রতিসরাঙ্ক ঐ মাধ্যমে আলোর গতিবেগের ব্যস্তানুপাতিক। প্রতিসরাঙ্ক যত বৃদ্ধি পাবে অর্থাৎ মাধ্যম যত ঘন হবে, ঐ মাধ্যমে আলোর গতিবেগও তত হ্রাস পাবে।

□ EXAMPLE □

একটি বিন্দু উৎস হতে 3 cm দূরে একটি পর্দা আছে। এদের মাঝখানে 3 mm পুরু এবং 1.5 প্রতিসরাঙ্কযুক্ত একখানি কাচ প্লেট রাখা আছে। উৎস শূন্য মাধ্যমে 6000Å° তরঙ্গ দৈর্ঘ্যের আলোক তরঙ্গ উৎপন্ন করে। উৎস এবং পর্দার ভিতর আলোকীয় দূরত্ব কত? তাদের ভিতর কয়টি তরঙ্গ থাকবে?

উঃ। পর্দা এবং উৎসের মধ্যে বায়ুপথের দৈর্ঘ্য = $3 - 0.3 = 2.7 \text{ cm}$; কাচের বেধের তুল্য বায়ুপথ = বেধ \times প্রতিসরাঙ্ক = $0.3 \times 1.5 = 0.45 \text{ cm}$; অতএব,

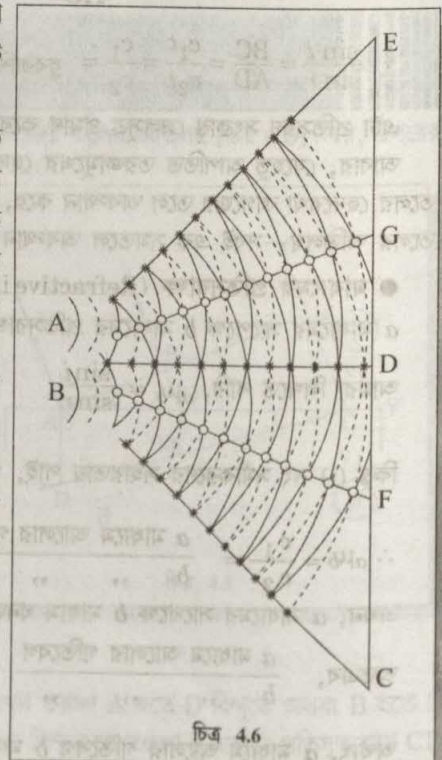
মোট আলোকীয় পথ = $2.7 + 0.45 = 3.15 \text{ cm}$.

$$\therefore \text{তরঙ্গের সংখ্যা} = \frac{\text{আলোকীয় পথ}}{\text{তরঙ্গদৈর্ঘ্য}} = \frac{3.15}{6000 \times 10^{-8}} = 52500$$

4.6. আলোর ব্যতিচার (Interference of light) :

আলোর ব্যতিচার পরিস্কারভাবে বোঝার জন্য আমরা প্রথমে যান্ত্রিক তরঙ্গের (mechanical wave) একটি উদাহরণ নেব।

ধরো, স্থির জলাশয়ের জলতলে A এবং B বিন্দুতে অনবরত একই ধরনের আলোড়ন সৃষ্টি করা হচ্ছে [চিত্র 4.6]। ঐ বিন্দুদ্বয় থেকে জলতলের ওপর দিয়ে অনবরত বৃত্তাকার তরঙ্গ বা ঢেউ চলে যাবে। এই তরঙ্গগুলি অবিকল একই রকমের হবে এবং তা তরঙ্গাপাদ (trough) ও তরঙ্গাশীর্ষের (crest) সমন্বয়ে গঠিত হবে। 4.6 নং চিত্রে বৃত্তাকার টানা রেখা দ্বারা তরঙ্গাশীর্ষ এবং কাটা কাটা বৃত্তাকার রেখাদ্বারা তরঙ্গাপাদ বুঝানো হয়েছে। A এবং B বিন্দু থেকে এরূপ তরঙ্গ বিস্তার লাভ করলে, তারা উপরিপন্ন (superposed) হবে। উপরিপাতের নীতি হতে আমরা জানি জলতলের কোনো বিন্দুর সরণ উভয় তরঙ্গ কর্তৃক সৃষ্ট পৃথক সরণের লব্ধির সমান হবে। যে বিন্দুগুলিতে একটি তরঙ্গাপাদের উপর অপরটির তরঙ্গাশীর্ষ এসে পড়েছে (কাটা লাইন এবং টানা লাইনের ছেদবিন্দু) সেই বিন্দুগুলিকে চিত্রে 0 চিহ্ন দ্বারা বুঝানো হয়েছে। ঐ বিন্দুগুলিতে তরঙ্গদ্বয় পরস্পরের সঙ্গে ধ্বংসাত্মক



চিত্র 4.6

ব্যতিচার (destructive interference) করে লব্ধ সরণ শূন্য করেছে। ফলে, ঐ বিন্দুগুলির তীব্রতা

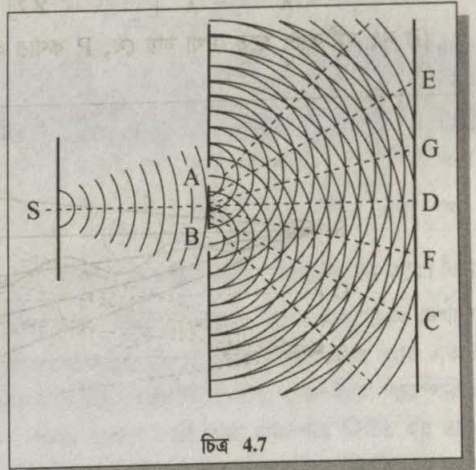
শূন্য। 4.6 চিত্র লক্ষ করলে দেখা যায় তারা G, F, প্রভৃতি বিন্দুগুলির মধ্য দিয়ে গত একটি রেখার ওপর অবস্থান করে। এই রেখাগুলিকে ধ্বংসাত্মক ব্যতিচার রেখা বলা যায়। তরঙ্গের অর্ধপর্যায়কাল পরে, তরঙ্গাপাদ তরঙ্গাশীর্ষে এবং তরঙ্গাশীর্ষ তরঙ্গাপাদে পরিণত হয় কিন্তু এই বিন্দুগুলির অবস্থা অপরিবর্তিত থাকে। এই অঙ্কল দিয়ে কখনও কোনো শক্তির প্রবাহ হয় না।

আবার, যে বিন্দুগুলিতে একটি তরঙ্গের তরঙ্গাপাদের ওপর অপরটির তরঙ্গাপাদ (দুটি কাটা লাইনের ছেদবিন্দু) অথবা একটির তরঙ্গাশীর্ষের ওপর অপরটির তরঙ্গাশীর্ষ (দুটি টানা লাইনের ছেদবিন্দু) এসে পড়েছে 4.6 নং চিত্রে তাদের \times চিহ্ন দ্বারা বুঝানো হয়েছে। সহজেই বোঝা যায়, এই সকল বিন্দুতে মোট সরণ দ্বিগুণ অথবা তীব্রতা চারগুণ হবে। C, D, E প্রভৃতি বিন্দু দিয়ে গত রেখার ওপর এই সকল বিন্দু অবস্থান করে। বলা হয়, এই সকল বিন্দুতে তরঙ্গদ্বয় গঠনমূলক ব্যতিচার (constructive interference) করেছে। এই রেখাগুলি হল গঠনমূলক ব্যতিচার রেখা। অর্ধপর্যায়কাল পরে যে-কোনো বিন্দুতে তরঙ্গাপাদের স্থান অধিকার করে তরঙ্গাশীর্ষ এবং তরঙ্গাশীর্ষের স্থান অধিকার করে তরঙ্গাপাদ কিন্তু এই সকল বিন্দুর তীব্রতা অপরিবর্তিত থাকে। বলা বাহুল্য, এই সকল বিন্দু দিয়ে শক্তির প্রবাহ হয় সর্বাধিক।

অনুরূপ ঘটনা আলোর ক্ষেত্রেও ঘটে। জলতলের পরিবর্তে যদি মনে করা যায় কোনো আলোকীয় মাধ্যমে A এবং B দুটি আলোক উৎস হতে একই ধরনের তরঙ্গ মাধ্যমের ভিতর দিয়ে অগ্রসর হচ্ছে এবং CDE রেখার স্থানে উৎস দুটির সংযোগ রেখার সমান্তরালে একটি পর্দা আছে, তবে ব্যতিচারের ফলে পর্দার উপর C, D, E বিন্দুতে উজ্জ্বল আলোক বিন্দু এবং F, G প্রভৃতি বিন্দু অন্ধকারাচ্ছন্ন হবে—অর্থাৎ পর্দার ওপর একান্তরভাবে (alternately) উজ্জ্বল এবং অন্ধকার বিন্দু দেখা যাবে। 1801 খ্রিস্টাব্দে ইয়ং সর্বপ্রথম পরীক্ষামূলকভাবে এটা প্রদর্শন করান।

4.7. ইয়ং-এর পরীক্ষা (Young's experiment) :

কাগজের তলের অভিলম্বভাবে রাখা একটি সরু রেখাছিদ্রের (S) ভিতর দিয়ে সাদা সূর্যরশ্মি প্রবেশ করে অপর দুটি রেখাছিদ্র A এবং B-এর ওপর পড়ল [চিত্র 4.7]। এই রেখাছিদ্রদ্বয় S রেখাছিদ্রের সমান্তরাল এবং পরস্পরের খুবই কাছাকাছি। এই রেখাছিদ্রদ্বয়ের ভিতর দিয়ে যাবার ফলে আলোকতরঙ্গ দুভাগে বিভক্ত হল এবং মাধ্যমের ভিতর দিয়ে অগ্রসর হবার কালে পরস্পরের সঙ্গে ব্যতিচার করল। CDE অবস্থানে একটি পর্দা রেখে ইয়ং পর্দার উপর C, F, D ইত্যাদি ব্যতিচার পটি (interference bands) লক্ষ করেন। সূর্যের আলো সাদা হওয়ায়, এই পটি বর্ণ-বিশিষ্ট হল এবং সংখ্যায় খুব অল্প দেখা গেল। সাদা আলোর পরিবর্তে একবর্ণের আলো নিলে, একান্তরভাবে উজ্জ্বল (bright) এবং অন্ধকার (dark) বিন্দু দেখা যাবে। A এবং B রেখাছিদ্রের যে-কোনো একটিকে বন্ধ করে দিলে, ব্যতিচার পটি আর দেখা যায় না। এভাবে ইয়ং সর্বপ্রথম পরীক্ষামূলকভাবে আলোর ব্যতিচার প্রদর্শন করান এবং আলোর তরঙ্গ-প্রকৃতি প্রমাণ করেন।



চিত্র 4.7

4.8.

ব্যতিচারের গাণিতিক বিশ্লেষণ (Analytical treatment of interference) :

মনে করো, S_1 এবং S_2 দুটি আলোক উৎস হতে λ তরঙ্গদৈর্ঘ্যের একবর্ণের আলোক তরঙ্গ একই অভিমুখে অগ্রসর হয়ে P বিন্দুতে অবস্থিত একটি কণার ওপর উপরিপন্ন (superposed) হল [চিত্র 4.8]। উপরিপাতের নীতি হতে আমরা জানি যে-কোনো সময়ে P কণার লম্ব সরণ হবে উক্ত তরঙ্গদ্বয় কর্তৃক সৃষ্ট পৃথক পৃথক সরণের বীজগাণিতিক সমষ্টির সমান।

প্রথম তরঙ্গ (S_1 উৎস হতে) P কণাতে t মুহূর্তে y_1 সরণ উৎপন্ন করলে আমরা লিখতে পারি,

$$y_1 = a \sin \frac{2\pi}{\lambda} (ct - x) \text{ [শব্দবিজ্ঞান দ্রষ্টব্য]}$$

এক্ষেত্রে, a = তরঙ্গের বিস্তার ; c = আলোক তরঙ্গের গতিবেগ ; $x = S_1$ হতে P বিন্দুর দূরত্ব।

অনুরূপভাবে, দ্বিতীয় তরঙ্গ (S_2 উৎস হতে) P কণাতে t মুহূর্তে y_2 সরণ উৎপন্ন করলে, লেখা যায়,

$$y_2 = a \sin \frac{2\pi}{\lambda} [ct - (x + \delta)].$$

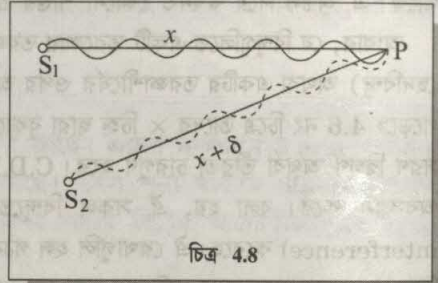
এখানে উল্লেখযোগ্য যে উভয় তরঙ্গের বিস্তার সমান এবং উৎসদ্বয় হতে P কণার পথ পার্থক্য (path-difference) = δ .

উপরিপাতের নীতি হতে P কণার লম্ব সরণ y নিম্নলিখিতভাবে পাওয়া যায়,

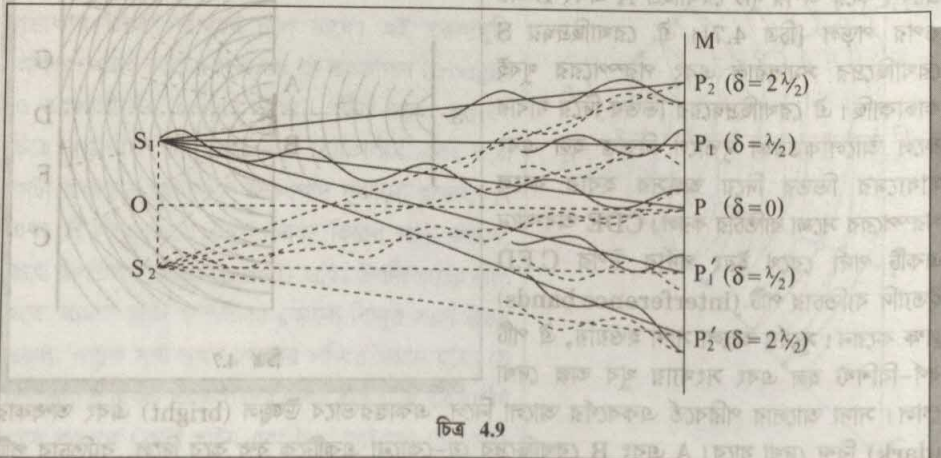
$$y = y_1 + y_2 = a \sin \frac{2\pi}{\lambda} (ct - x) + a \sin \frac{2\pi}{\lambda} [ct - (x + \delta)]$$

$$= 2a \cos \frac{\pi\delta}{\lambda} \cdot \sin \frac{2\pi}{\lambda} \left[ct - \left(x + \frac{\delta}{2} \right) \right] \dots \dots (i)$$

(i) নং সমীকরণ হতে দেখা যায় যে, P কণার লম্ব সরণ কর্তৃক সৃষ্ট লম্ব তরঙ্গ পৃথক তরঙ্গের



চিত্র 4.8



চিত্র 4.9

মতো একই দৈর্ঘ্যের (λ) সাইন তরঙ্গ ; তবে লম্ব তরঙ্গের বিস্তার = $2a \cos \frac{\pi\delta}{\lambda}$; কিন্তু পৃথক

তরঙ্গের বিস্তার = a .

এটা প্রমাণ করে যে, লম্ব তরঙ্গের বিস্তার δ -এর উপর নির্ভর করে পরিবর্তনশীল। যখন

$$\delta = \frac{\lambda}{2}, \frac{3\lambda}{2}, \frac{5\lambda}{2} \dots (2n+1) \frac{\lambda}{2} \text{ তখন, } \cos \frac{\pi\delta}{\lambda} = 0 \text{ অর্থাৎ লম্ব তরঙ্গের বিস্তার শূন্য।}$$

যেহেতু P বিন্দুতে আলোকের তীব্রতা ঐ বিন্দুর বিস্তারের বর্গের সমানুপাতিক, সেইহেতু বলা যায়, যে সকল বিন্দুতে দুই তরঙ্গের পথ-পার্থক্য $\frac{\lambda}{2}$ -এর অযুগ্ম গুণিতক সেই সকল বিন্দুতে আলোকের তীব্রতা শূন্য বা সেই সকল বিন্দু অন্ধকার বিন্দু (dark points)। ঐ সকল বিন্দুতে তরঙ্গদ্বয় ধ্বংসাত্মক ব্যতিচার করে [4.9 নং চিত্রে P_1, P'_1 ইত্যাদি বিন্দুগুলি]।

অতএব, ধ্বংসাত্মক ব্যতিচারের শর্ত হল $\delta = \frac{\lambda}{2}, \frac{3\lambda}{2}, \frac{5\lambda}{2} \dots (2n+1) \frac{\lambda}{2}$ যেখানে, $n = 0, 1, 2, 3, \dots$ ইত্যাদি।

আবার, যখন, $\delta = \frac{2\lambda}{2}, \frac{4\lambda}{2}, \frac{6\lambda}{2}, \dots 2n \frac{\lambda}{2}$ তখন $\cos \frac{\pi\delta}{\lambda}$ র মান সর্বাধিক (± 1) এবং লম্ব তরঙ্গের বিস্তার = $\pm 2a$ -এর সমান। ঐ বিন্দুর তীব্রতা = $(-2a)^2 = 4a^2$ অর্থাৎ একটি উৎস কর্তৃক সৃষ্ট তীব্রতার চারগুণ। এতএব যে-সকল বিন্দুতে দুই তরঙ্গের পথ-পার্থক্য $\frac{\lambda}{2}$ -এর যুগ্ম গুণিতক সেই সকল বিন্দুতে তরঙ্গদ্বয় গঠনমূলক ব্যতিচার করে উজ্জ্বল বিন্দু (bright points) সৃষ্টি করে। [4.9 নং চিত্রে P, P_2, P'_2 ইত্যাদি বিন্দুগুলি]।

সুতরাং গঠনমূলক ব্যতিচারের শর্ত হল $\delta = 0, \frac{2\lambda}{2}, \frac{4\lambda}{2}, \dots 2n \frac{\lambda}{2}$ যেখানে, $n = 0, 1, 2, 3, \dots$ ইত্যাদি।

(দ্রঃ উজ্জ্বল বিন্দু এবং অন্ধকার বিন্দুগুলিকে অনেক সময় যথাক্রমে চরম (maxima) এবং অবম (minima) বিন্দু বলা হয়।)

4.9. স্থায়ী ব্যতিচারের শর্তাবলি (Conditions for permanent interference) :

ব্যতিচারের গাণিতিক বিশ্লেষণ থেকে দেখা যায় যে ব্যতিচারের দরুন অন্ধকার বিন্দু সৃষ্টির জন্য তরঙ্গদ্বয়ের পথ-পার্থক্য $\frac{\lambda}{2}$ এর অযুগ্ম গুণিতক হতে হবে এবং উজ্জ্বল বিন্দু সৃষ্টির জন্য পথ-পার্থক্য $\frac{\lambda}{2}$ এর যুগ্ম গুণিতক হওয়া প্রয়োজন। তাছাড়া, তরঙ্গদ্বয়ের দৈর্ঘ্য এবং বিস্তার সমান হবে। কিন্তু বিশেষ বিশেষ বিন্দুকে অন্ধকার বিন্দু এবং অন্য বিন্দুগুলিকে উজ্জ্বল বিন্দুরূপে অনেকক্ষণ যাবৎ দেখতে হলে—অর্থাৎ স্থায়ীভাবে ব্যতিচার নকশা (interference pattern) তৈরি করতে হলে আর একটি শর্তের বিশেষ প্রয়োজন। শর্তটি হল ঐ যে, তরঙ্গদ্বয় যখন উৎস হতে নির্গত হবে, তখন তারা পারস্পরিক দশা সম্পর্ক (phase-relation) সর্বক্ষণের জন্য বজায় রাখবে। যদি তারা সমদশায় নির্গত হয় তবে বরাবরের জন্য সমদশা নিয়ে নির্গত হবে ; আর যদি বিশেষ কোনো দশা পার্থক্য নিয়ে নির্গত হয় তবে বরাবরের জন্য ঐ দশা-পার্থক্য বজায় রাখবে। কোনো কারণে, একটি তরঙ্গে দশার কোনো পরিবর্তন হলে সঙ্গে সঙ্গে অন্য তরঙ্গেও সেই পরিবর্তন হতে হবে। এটা না হলে, অন্ধকার বিন্দু এবং উজ্জ্বল বিন্দু অনবরত স্থান পরিবর্তন করবে এবং ব্যতিচার নকশা স্থায়ীভাবে দেখা যাবে না। অতএব, স্থায়ী ব্যতিচারের শর্তাবলি হিসাবে আমরা লিখতে পারি,

(i) উৎসদ্বয় নিরন্তর সমদৈর্ঘ্যের এবং সমবিস্তারের তরঙ্গ নিঃসরণ করবে।

(ii) উৎসদ্বয় হতে নিঃসৃত তরঙ্গগুলি পারস্পরিক দশা-সম্পর্ক সর্বক্ষণের জন্য বজায় রাখবে। একটি উৎসে দশার কোনো পরিবর্তন ঘটলে সঙ্গে সঙ্গে অন্যটিতেও অনুরূপ পরিবর্তন হওয়া প্রয়োজন। এই ধরনের উৎসকে বলা হয় সুসংগত উৎস (coherent sources)।

(iii) উৎসদ্বয় খুব কাছাকাছি থাকা প্রয়োজন ; নতুবা উজ্জ্বল বিন্দু এবং অন্ধকার বিন্দু খুব নিকটবর্তী হয়ে পরস্পরের সাথে মিশে যেতে পারে।

(iv) অন্ধকার বিন্দুতে তরঙ্গদ্বয়ের পথ-পার্থক্য $\frac{\lambda}{2}$ এর অযুগ্ম গুণিতক এবং উজ্জ্বল বিন্দুতে $\frac{\lambda}{2}$ এর যুগ্ম গুণিতক হবে।

● দুটি সদৃশ দীপ ব্যতিচার নকশা তৈরি করে না কেন ?

উপরের শর্তাবলি হতে পরিষ্কার বোঝা যায় যে সাধারণভাবে দুটি সদৃশ দীপ (candle) হতে আগত তরঙ্গমালা—এমনকি একই দীপশিখার দুই অংশ হতে আগত তরঙ্গমালাও স্থায়ী ব্যতিচার নকশা তৈরি করতে সক্ষম নয়। কারণ, শিখার কোনো কণার কম্পন-দশা চতুত্পার্শ্বস্থ কণার সংঘাতের ফলে প্রতি সেকেন্ডে বহুবার আকস্মিকভাবে পরিবর্তিত হয়। ফলে, ঐ কম্পন হতে সৃষ্ট তরঙ্গের দশারও প্রতি সেকেন্ডে অসংখ্যবার আকস্মিক পরিবর্তন হবে। একটি শিখায় সকল প্রকার সম্ভাব্য দশাসম্পন্ন অসংখ্য কণা থাকে এবং ঐ কণাগুলি হতে নির্গত তরঙ্গসমূহ স্বাভাবিক কারণেই পারস্পরিক দশা-সম্পর্ক বজায় রাখতে পারে না। সুতরাং দুটি সদৃশ দীপ অথবা একই দীপের দুই বিভিন্ন অংশকে কোনোমতেই সুসংগত উৎস বলা যায় না। এই তরঙ্গমালাগুলির দশা সম্পর্কের নিরন্তর পরিবর্তনের ফলে, চরম এবং অবম বিন্দুগুলির (maxima and minima) অবস্থানের অতি দ্রুত পরিবর্তন ঘটে। ফলে, আমরা পর্দাকে সাধারণভাবে আলোকিত হতে দেখি ; কোনো ব্যতিচার নকশা দেখতে পাই না।

● সুসংগত উৎস (Coherent sources) :

ইতিপূর্বে আমরা দেখেছি যে-কোনো দুটি আলোক-উৎস স্থায়ী ব্যতিচার গঠন করতে পারে না। স্থায়ী ব্যতিচার গঠনের জন্য দুটি সুসংগত উৎসের প্রয়োজন। এই উৎসদ্বয় এরূপ হবে যে তারা প্রায় সমান তীব্রতার ঠিক সমান তরঙ্গদৈর্ঘ্যের এবং পারস্পরিক দশা-সম্পর্ক বজায় রেখে নিরন্তর আলোকতরঙ্গ নির্গত করবে।

উৎস সুসংগত হতে গেলে আরও একটি শর্তের প্রয়োজন। শর্তটি এই যে উৎস নির্গত তরঙ্গদ্বয়ের সমবর্তন তল (planes of polarisation) এক হতে হবে। X-অক্ষ বরাবর গতিশীল থাকার সময় একটি তরঙ্গের সমবর্তন তল উল্লম্ব Y-Z তল হলে এবং একই দিকে গতিশীল অন্যতরঙ্গের সমবর্তন তল অনুভূমিক X-Y তল হলে, দুই তরঙ্গের তরঙ্গাশীর্ষ বা তরঙ্গাপাদ পরস্পরের সঙ্গে মিলবে না কারণ উভয়তরঙ্গের আন্দোলন পরস্পরের লম্ব হবে। ফলে গঠনমূলক ব্যতিচার হবে না। সুতরাং দুটি আলোক উৎস সুসংগত হতে হলে নিঃসৃত তরঙ্গদ্বয় একই তলে সমবর্তিত হতে হবে।

● দুটি সুসংগত উৎস নির্মাণের বিভিন্ন পদ্ধতি (Different methods for producing two coherent sources) :

দুটি সুসংগত আলোক উৎস নির্মাণের নিম্নলিখিত পদ্ধতি আছে :

(ক) একটি সরু আলোক উদ্ভাসিত (illuminated) রেখাছিদ্র (slit) এবং প্রতিফলনের সাহায্যে তার প্রতিবিম্ব সৃষ্টি দ্বারা।

(খ) প্রতিসরণের সাহায্যে একই উৎসের (সরু উদ্ভাসিত রেখাছিদ্র) দুটি প্রতিবিম্ব সৃষ্টি দ্বারা।

(গ) তরঙ্গের বিস্তারের বিভাজন দ্বারা।

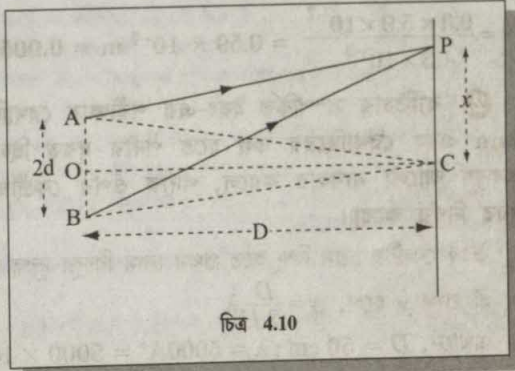
4.10. দুটি সুসঙ্গত উৎস কর্তৃক সৃষ্ট ব্যতিচার ঝালরের প্রস্থ (Width of interference fringes produced by two coherent sources):

ধরো, A এবং B দুটি একবর্ণের সুসঙ্গত উৎস। উৎসদ্বয় হতে নিরন্তর সমদৈর্ঘ্য, সমবিস্তার এবং সমদশাসম্পন্ন তরঙ্গমালা নির্গত হয়ে সম্মুখের দিকে অগ্রসর হচ্ছে। তরঙ্গমালার পথে এবং কাগজের তলের লম্বভাবে একটি পর্দা রাখলে, ঐ পর্দা সমভাবে আলোকজঙ্ঘল হবে না। পর্দায় একান্তরভাবে উজ্জ্বল এবং অন্ধকার পটি অথবা কৃষ্ণপটি (dark band) দেখা যাবে, কারণ, কোনো কোনো বিন্দুতে তরঙ্গমালা সমদশায়—আবার কোনো কোনো বিন্দুতে বিপরীত দশায় উপস্থিত হয়ে গঠনমূলক এবং ধ্বংসাত্মক ব্যতিচার সৃষ্টি করবে। পর্দার উপরকার উজ্জ্বল এবং কৃষ্ণপটিগুলিকে একসঙ্গে ব্যতিচার ঝালর (interference fringes) বলা হয় [চিত্র 4.9]।

AB দূরত্বের মধ্যবিন্দু O হতে পর্দার উপর OC লম্ব টান (চিত্র 4.10)। ধর, $AB = 2d$ এবং $OC = D$ । অর্থাৎ AB দূরত্বের মধ্যবিন্দু O থেকে পর্দা PC-র দূরত্ব $= D$; উৎসদ্বয়ের পারস্পরিক দূরত্ব $= 2d$ । ঝালর প্রস্থ (fringe width) y হলে প্রমাণ করা যায় $y = \frac{D\lambda}{2d}$ ।

[প্রমাণ : A এবং B বিন্দু থেকে C বিন্দুর দূরত্ব সমান বলে উৎসদ্বয় থেকে তরঙ্গমালা সমদশায় যাত্রা শুরু করে C বিন্দুতে সমদশাতেই উপস্থিত হবে, কারণ তারা সমদূরত্ব অতিক্রম করল। অতএব, C বিন্দুর বিস্তার অথবা আলোর তীব্রতা হবে সর্বাধিক।

এখন, পর্দার উপর আর একটি বিন্দু P নেওয়া হল। ধরো, $PC = x$; AP এবং BP যোগ করো। যেহেতু এই দুই পথের দৈর্ঘ্য সমান নয়, তাই তরঙ্গমালা উৎস থেকে সমদশায় নির্গত হলেও P বিন্দুতে পৌঁছালে তাদের দশা পৃথক হবে। সুতরাং P বিন্দু উজ্জ্বল হবে কি অন্ধকারাচ্ছন্ন হবে, তা নির্ভর করবে এই পথ-পার্থক্যের উপর।



চিত্র 4.10

$$\text{এখন, } BP^2 = D^2 + (x + d)^2 \text{ এবং } AP^2 = D^2 + (x - d)^2$$

$$\text{অতএব, } BP^2 - AP^2 = (x + d)^2 - (x - d)^2 = 4dx$$

$$\therefore BP - AP = \frac{4dx}{BP + AP} = \frac{4dx}{2D} = \frac{2dx}{D} \quad \{d\text{-এর তুলনায় } D \text{ অনেক বড়ো বলে, } BP = AP = D \text{ (প্রায়) ধরা যেতে পারে}\}$$

$$\text{সুতরাং, P বিন্দুতে উপস্থিত হলে, তরঙ্গদ্বয়ের পথপার্থক্য } \delta = BP - AP = \frac{2dx}{D}$$

আমরা 1.8 অনুচ্ছেদে দেখেছি, উজ্জ্বল বিন্দুর শর্ত হল $\delta = 2n \cdot \frac{\lambda}{2}$ । সুতরাং, P বিন্দু n th উজ্জ্বল

$$\text{বিন্দু হলে, } \frac{2dx_n}{D} = 2n \cdot \frac{\lambda}{2} = n\lambda \quad \text{অথবা, } x_n = \frac{D \cdot n\lambda}{2d}$$

$n = 1, 2, 3$ ইত্যাদি ধরে আমরা C বিন্দুর উপরে এবং নিচে প্রথম, দ্বিতীয়, তৃতীয় ইত্যাদি উজ্জ্বল বিন্দুর অবস্থান পেতে পারি।

এখন, $(n+1)^{th}$ উজ্জ্বল বিন্দু C থেকে x_{n+1} দূরে থাকলে আমরা পাই $x_{n+1} = \frac{D(n+1)\lambda}{2d}$

অতএব, পরপর দুটি উজ্জ্বল বিন্দুর ব্যবধান (একে বলে পটিপ্রস্থ বা ঝালর প্রস্থ)

$$y = x_{n+1} - x_n = \frac{D(n+1)\lambda}{2d} - \frac{Dn\lambda}{2d} = \frac{D}{2d} \cdot \lambda$$

এখানে উল্লেখযোগ্য যে পর্দাকে A,B উৎসদ্বয়ের সম্মুখে যে-কোনো জায়গাতে রাখলেই পর্দার ওপর ব্যতিচার ঝালর দেখা যাবে। ব্যতিচার ঝালর কোনো নির্দিষ্ট জায়গায় সীমাবদ্ধ নয় বলে একে একদেশতাবিহীন ঝালর (non-localised fringes) বলা হয়।

□ EXAMPLES □

1. 3 mm পারস্পরিক দূরত্বে অবস্থিত দুটি ঝাজু এবং সমান্তরাল রেখাছিদ্রকে একবর্ণের আলোক উৎস ($\lambda = 5.9 \times 10^{-7} \text{ m}$) দ্বারা উদ্ভাসিত করা হল। রেখাছিদ্র হতে 0.3 m দূরে ব্যতিচার ঝালর দেখা হল। ঝালর-প্রস্থ কত হবে?

উঃ। ঝালর-প্রস্থ y হলে আমরা দেখেছি, $y = \frac{D}{2d} \lambda$.

এক্ষেত্রে, $D = 0.3 \text{ m}$; $2d = 3 \text{ mm} = 3 \times 10^{-3} \text{ m}$ এবং $\lambda = 5.9 \times 10^{-7} \text{ m}$ । কাজেই,

$$y = \frac{0.3 \times 5.9 \times 10^{-7}}{3 \times 10^{-3}} = 0.59 \times 10^{-4} \text{ m} = 0.0059 \text{ cm}.$$

2. ব্যতিচার সম্পর্কিত ইয়ং-এর পরীক্ষায় রেখাছিদ্র দুটির পারস্পরিক দূরত্ব ছিল 0.1 mm এবং রেখাছিদ্রের তল হতে পর্দার দূরত্ব ছিল 50 cm; 5000\AA তরঙ্গদৈর্ঘ্যের একবর্ণ আলো ব্যবহার করলে, পর্দার ওপর কেন্দ্রীয় চরম বিন্দু হতে প্রথম চরম বিন্দুর দূরত্ব নির্ণয় করো।

উঃ। কেন্দ্রীয় চরম বিন্দু হতে প্রথম চরম বিন্দুর দূরত্ব ঝালর-প্রস্থের সমান।

এ প্রস্থ y হলে, $y = \frac{D}{2d} \lambda$

এখানে, $D = 50 \text{ cm}$; $\lambda = 5000\text{\AA} = 5000 \times 10^{-8} \text{ cm} = 5 \times 10^{-5} \text{ cm}$; $2d = 0.1 \text{ mm} = 0.01 \text{ cm}$.

$$\text{কাজেই, } y = \frac{50 \times 5 \times 10^{-5}}{0.01} = 0.25 \text{ cm}.$$

এই পরিচ্ছেদের বিষয়বস্তু সম্পর্কে কয়েকটি প্রশ্ন (Some typical problems of this chapter)

1. দুটি বৈদ্যুতিক বাতিকে পাশাপাশি রেখে ব্যতিচার ঝালর গঠন করা যাবে কি?
 - না, কারণ, বৈদ্যুতিক বাতি থেকে নির্গত আলোক-তরঙ্গদ্বয় পরস্পরের ভিতর দশা পার্থক্য বজায় রাখতে পারে না। তাই কোন স্থায়ী ব্যতিচার ঝালর পর্দায় গঠিত হয় না। পর্দা সাধারণভাবে আলোকিত হবে।
2. ইয়ং-এর পরীক্ষার এক বর্ণের আলোক উৎসের পরিবর্তন করে ক্ষুদ্রতর তরঙ্গদৈর্ঘ্যযুক্ত অন্য এক বর্ণের আলোক উৎস ব্যবহার করলে ব্যতিচার ঝালরের কি পরিবর্তন হবে?
 - ঝালর প্রস্থ এবং কৌণিক পার্থক্য দুই-ই হ্রাস পাবে।

3. জলে নিমজ্জিত অবস্থায় ইয়ং-এর পরীক্ষা করলে ব্যতিচার ঝালরের কি পরিবর্তন হবে ?
- আলোর তরঙ্গদৈর্ঘ্য বায়ু মধ্যে যা হয় জলে ঐ দৈর্ঘ্য হ্রাস পায়। এখন ঝালর-প্রস্থ $y = \frac{D}{2d} \cdot \lambda$ অতএব, λ হ্রাস পেলে, y অর্থাৎ ঝালর প্রস্থ হ্রাস পাবে অথবা ঝালরগুলি খুব কাছাকাছি গঠিত হবে।
4. দুটি তরঙ্গের ভিতর পথ-পার্থক্য λ হলে তাদের ভিতর দশা পার্থক্য কত হবে ?
- তরঙ্গদ্বয়ের ভিতর পথ-পার্থক্য λ হলে, দশা পার্থক্য হবে 2π অথবা তরঙ্গদ্বয় সমদশায় উপস্থিত হবে।
5. সাদা আলো ব্যবহার করে ব্যতিচার ঝালর গঠন করা যায় কি ?
- সাদা আলো ব্যবহার করলে, ব্যতিচার ঝালর হবে রঙিন। কারণ পথ-পার্থক্যের ওপর নির্ভর করে এক এক বিন্দুতে এক একরকম রংয়ের তরঙ্গ ধ্বংসাত্মক ব্যতিচার করে অনুপস্থিত থাকবে। অন্যান্য রংয়ের তরঙ্গ উপস্থিত থেকে ঝালরকে রঙিন করে দেবে।



প্রশ্নাবলি



→ রচনাধর্মী প্রশ্ন

1. নিম্নলিখিত তড়িচ্চুম্বকীয় তরঙ্গগুলিকে ক্রমবর্ধমান তরঙ্গদৈর্ঘ্য অনুযায়ী সাজাও : রেডিও তরঙ্গ, অতিবেগুনি তরঙ্গ, গামা রশ্মি, মাইক্রোতরঙ্গ, এক্সরশ্মি।
2. হাইগেন্সের নীতি বর্ণনা করো এবং এর সাহায্যে কীভাবে আলোর প্রতিফলন সংক্রান্ত সূত্রাবলি প্রমাণ করা যায়, তা ব্যাখ্যা করো।
3. হাইগেন্স-এর নীতি পরিষ্কারভাবে ব্যাখ্যা করো এবং তা থেকে প্রতিসরণের সূত্রাবলি প্রতিষ্ঠা করো। প্রতিসরাঙ্ক কাকে বলে এবং তা বিভিন্ন মাধ্যমে আলোর গতিবেগের সঙ্গে কীভাবে সম্পর্ক যুক্ত?
4. আলোর তরঙ্গ-তত্ত্বের সাহায্যে দেখাও যে, কোনো মাধ্যমের প্রতিসরাঙ্ক ঐ মাধ্যমের আলোর গতিবেগের ব্যস্তানুপাতিক।
5. দুটি একই বর্ণের বিন্দু উৎস কর্তৃক উৎপন্ন ব্যতিচার ঝালরের অবস্থান এবং প্রস্থ প্রকাশের রাশিমালা নির্ধারণ করো।
6. আলোর ব্যতিচার সংক্রান্ত ইয়ং-এর দ্বিবেধা ছিন্ন পরীক্ষাটি সংক্ষেপে বর্ণনা করো। পটির প্রস্থ কাকে বলে ? এর একটি ব্যঙ্কক প্রতিষ্ঠা করো।
7. সুসংগত আলোক উৎস বলতে কি বোঝায় ? দুটি সুসংগত আলোক উৎস থেকে উৎসারিত আলোক উপরিপাতিত হয়। একটি পর্দা উৎস থেকে দূরে এমনভাবে রাখা হল যে উৎস দুটির সংযোগ রেখা পর্দার সমান্তরাল হয়। পর্দায় কী দেখা যাবে বল ও পটিবেধের মান নির্ণয় করো। (উৎস দুটির দূরত্ব $2d$, পর্দা থেকে উৎসের দূরত্ব D ও তরঙ্গ দৈর্ঘ্য λ ।)

→ সংক্ষিপ্ত উত্তরের প্রশ্ন

1. দুই মাধ্যমের ভিতর প্রতিসরাঙ্ক কাকে বলে ? ঐ দুই মাধ্যমের ভিতর আলোর গতিবেগের সঙ্গে প্রতিসরাঙ্কের সম্পর্ক কী ?
2. তরঙ্গমুখ কাকে বলে ? উৎস থেকে তরঙ্গ বহুদূর চলে গেলে ঐ তরঙ্গের তরঙ্গমুখ কী প্রকারের হবে ?
3. তরঙ্গের সম্মিলন সম্পর্কিত হাইগেন্স নীতি সংক্ষেপে আলোচনা করো। পশ্চাত্তরী তরঙ্গমুখ কাকে বলে ?
4. আলোর ব্যতিচার বলতে কি বোঝ ? গঠনমূলক ও ধ্বংসাত্মক ব্যতিচার কাকে বলে ?
5. ইয়ং-এর পরীক্ষায় পর্দাকে উৎসগুলি থেকে দূরে সরালে ব্যতিচার নকশার কি পরিবর্তন হবে ?
6. দীর্ঘস্থায়ী ব্যতিচার ঝালর তৈরি করার জন্য প্রয়োজনীয় শর্তগুলি উল্লেখ করো। সুসঙ্গত উৎস কাকে বলে ?
7. দুটি ভিন্ন উৎস থেকে আগত একবর্ণের আলো দ্বারা ব্যতিচার উৎপন্ন হয় কি না ? যদি না হয় কেন ?
8. দুটি সুসংগত আলোক উৎস পাবার যে-কোনো একটি পদ্ধতি উল্লেখ করো।

→ অতি-সংক্ষিপ্ত উত্তরের প্রশ্ন

1. দু'একটি তড়িচ্চুম্বকীয় তরঙ্গের নাম করো।

2. অতিবেগুনি আলোর তরঙ্গদৈর্ঘ্য বড়ো না এক্সরশির তরঙ্গদৈর্ঘ্য বড়ো ?
3. তরঙ্গমুখ থেকে রশ্মির গতির অভিমুখ কীভাবে পাওয়া যায় ?
4. সুসংগত উৎস কাকে বলে ?
5. দুটি উৎস সুসংগত হতে গেলে কী শর্ত পূরণ করতে হবে ?

➡ **বহুমুখী পছন্দের প্রশ্ন [Multiple choice type (M.C.Q.)]**

(A) নির্ভুল উত্তরটি ✓ চিহ্নিত করো :

- [i] তড়িচ্চুম্বকীয় তত্ত্বের প্রতিষ্ঠাতা কে ?
(A) নিউটন (B) ম্যাক্সওয়েল (C) হাইগেনস (D) প্ল্যাঙ্ক।
- [ii] কোনো জড় পদার্থের সাহায্য না নিয়ে শূন্যের মধ্য দিয়ে তড়িচ্চুম্বকীয় তরঙ্গ চলাচল করতে পারে। এই উক্তি
(A) প্রায় সত্য (B) প্রায় অসত্য (C) অসত্য (D) সত্য।
- [iii] বেতার তরঙ্গ, অণু তরঙ্গ, অবলোহিত রশ্মি, U-V রশ্মি, এক্সরশ্মি এবং গামা রশ্মি,
(A) সকলই আলোকরশ্মি (B) সকলই তড়িচ্চুম্বকীয় তরঙ্গ
(C) সকলই তড়িৎ তরঙ্গ (D) সকলই চৌম্বক তরঙ্গ।
- [iv] একটি তরঙ্গের তরঙ্গদৈর্ঘ্যের পাল্লা কয়েক কিলোমিটার থেকে 0.3m পর্যন্ত। ওই তরঙ্গগুচ্ছ হবে
(A) অণুতরঙ্গ (B) অবলোহিত তরঙ্গ (C) দৃশ্যমান তরঙ্গ (D) বেতার তরঙ্গ।
- [v] আলোক উৎস অসীমে থাকলে, তরঙ্গমুখের আকার হয়
(A) গোলায় (B) চোঙাকৃতি (C) উপবৃত্তাকার (D) সমতল।

(B) শূন্যস্থান পূরণ করো (Fill up the gaps) :

- [i] যখন তরঙ্গ সম্মুখের দিকে অগ্রসর হয় তখন কোনো মুহূর্তে সমদশা সম্পন্ন মাধ্যমের কণাগুলির সঞ্চার পথকে _____ বলা হয়।
- [ii] আলোর ব্যতিচার হলে যেখানে পথ-পার্থক্য তরঙ্গদৈর্ঘ্যের অমুখ্য গুণিতক সেখানে _____ ব্যতিচার হয়।
- [iii] আলোক তরঙ্গের _____ দ্বারা বোঝা যায় যে ওই তরঙ্গ তির্যক।

(C) ভুল কি নির্ভুল বিচার করো (True or false) :

- [i] কেবলমাত্র সুসংগত আলোক উৎস স্থায়ী ব্যতিচার ঝালর তৈরি করতে পারে।
- [ii] শব্দের ন্যায়, আলো শূন্য মাধ্যমে চলাচল করতে পারে না।
- [iii] ফিলামেন্ট বাতি সর্বদা পিথর দশার আলো নিঃসরণ করে।
- [iv] সাদা আলো ব্যতিচার নকশা তৈরি করে না।

➡ **গাণিতিক প্রশ্ন**

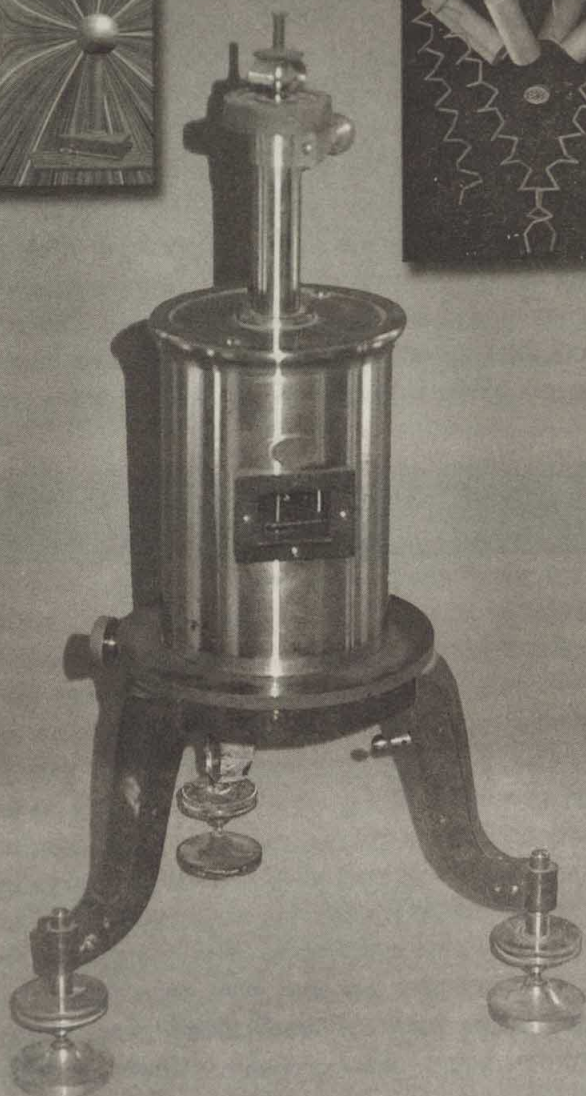
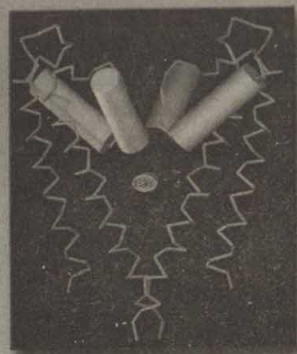
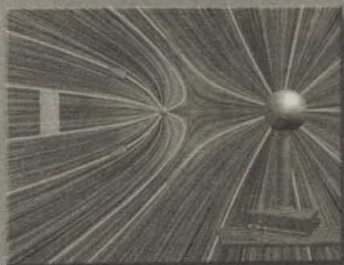
1. শূন্যে যে আলোকের তরঙ্গদৈর্ঘ্য 5896\AA , কাচের মধ্যে তার গতিবেগ এবং তরঙ্গ দৈর্ঘ্য নির্ণয় করো। ঐ তরঙ্গ দৈর্ঘ্যের বেলায় কাচের প্রতিসরাঙ্ক $= 1.5$ এবং শূন্যে আলোর গতিবেগ $= 3 \times 10^8 \text{ m/s}$.
[Ans. $2 \times 10^8 \text{ m/s}$; 3930\AA]
2. বায়ুসাপেক্ষে কাচের সংকট কোণ 41° ; বায়ুতে আলোর গতিবেগ $3 \times 10^8 \text{ m/s}$. হলে কাচে আলোর গতিবেগ কত হবে? $\sin 41^\circ = 0.6576$.
[Ans. $1.97 \times 10^8 \text{ m/s}$]
3. দুটি রেখাঙ্কিত হতে 120 cm দূরে রাখা একখানি পর্দায় 1.5 mm প্রস্থের ব্যতিচার ঝালর পাওয়া গেল। রেখাঙ্কিত দুটির পারস্পরিক দূরত্ব 0.45 mm হলে আলোর তরঙ্গ-দৈর্ঘ্য কত?
[Ans. $5625 \times 10^{-10} \text{ cm}$]

□ **M.C.Q. প্রশ্নের উত্তর** □

- (A) (i) B (ii) D (iii) B (iv) D (v) D
(B) [i] তরঙ্গমুখ, [ii] ধ্রুসোদ্ধক, [iii] সমবর্তন।
(C) [i] নির্ভুল, [ii] ভুল, [iii] ভুল, [iv] ভুল।

স্থির তড়িৎ-বিজ্ঞান

[ELECTROSTATICS]



1

পরিচ্ছেদ



তড়িৎতাহিতকরণের সাধারণ বিষয়াদি

[GENERAL FACTS OF ELECTRIFICATION]

1.1. সূচনা (Introduction) :

খ্রিস্টপূর্ব 600 অব্দে প্রাচীন গ্রিক পণ্ডিতগণ লক্ষ করেন যে, অ্যামবার (amber) নামক একটি পদার্থকে (এটি পাইন গাছের শক্ত আঠা) রেশমি কাপড় দিয়ে ঘষলে তা ছোটো ছোটো কাগজের টুকরো বা অন্য কোনো হালকা জিনিস আকর্ষণ করতে পারে। তোমরা হয়তো অনেকে লক্ষ করে থাকবে, শীতকালে সেলুলয়েড বা গাটাপার্চার চিরুনি দিয়ে চুল আঁচড়াবার পর ঐ চিরুনি ছোটো ছোটো পাতলা কাগজের টুকরোকে আকর্ষণ করে। কিন্তু গ্রিক পণ্ডিতগণের অ্যামবার সংক্রান্ত ঐ ঘটনা লক্ষ করার পর আর কেহ এ সম্বন্ধে বিশেষ আগ্রহ প্রকাশ করেননি; পরে 1600 খ্রিস্টাব্দে ডাঃ গিলবার্ট এ সম্বন্ধে বিস্তারিত অনুসন্ধান করেন। তিনি দেখতে পান অ্যামবার ছাড়া আরও অনেক পদার্থে ঐ ধর্ম বর্তমান। গ্রিক ভাষায় অ্যামবারকে ইলেকট্রন (electron) বলা হয় বলে সম্ভবত ডাঃ গিলবার্ট এই ব্যাপারকে ইলেকট্রিফিকেশন (electrification) বা তড়িৎতাহিতকরণ নাম দেন। রেশম দ্বারা ঘষা অ্যামবার-এর ন্যায় যে বস্তু অন্যান্য হালকা জিনিস আকর্ষণ করার ক্ষমতা রাখে তাকে বলা হয় তড়িৎতাহিত (electrified) বস্তু। এই তড়িৎ বস্তুতে আবদ্ধ থাকে এবং চলাচল করতে পারে না বলে এই ধরনের তড়িৎকে বলা হয় স্থির-তড়িৎ (static electricity)।

1.2. পরিবাহী (Conductor) ও অপরিবাহী (Non-conductor) বা অন্তরক (Insulator) :

একটি পিতলের দণ্ডকে হাতে ধরে রেশম, ফ্লানেল বা পশম ইত্যাদি বস্তু দিয়ে ঘষে ছোটো ছোটো কাগজের টুকরোর সামনে ধরলে কোনো আকর্ষণই দেখা যাবে না, অর্থাৎ দণ্ড তড়িৎতাহিত হবে না। অথচ উক্ত ঘর্ষণকারী পদার্থগুলি দ্বারা কাচ, গালা, এবোনাইট প্রভৃতি বস্তুকে ঘষে সহজেই তড়িৎতাহিত করা যায়। এই ঘটনা লক্ষ করে প্রাচীন বিজ্ঞানীগণ মনে করতেন যে, কোনো কোনো পদার্থ আছে যাদের কিছুতেই তড়িৎতাহিত করা যায় না। কিন্তু এই ধারণা ঠিক নয়। প্রকৃতপক্ষে যে-কোনো বস্তুকেই উপযুক্ত ঘর্ষণকারীর সাহায্যে তড়িৎতাহিত করা যায়। তবে পিতলের দণ্ডে তড়িৎ এল না কেন?

এই প্রশ্নের উত্তর এই যে, পিতলের দণ্ডে তড়িৎের উদ্ভব হয়েছিল; কিন্তু পিতলের ভিতর দিয়ে এবং মানুষের দেহ দিয়ে তড়িৎ সহজে চলাচল করে বলে দণ্ড হাত দিয়ে ধরে রাখলে ঐ তড়িৎ মানুষের দেহ দিয়ে তৎক্ষণাৎ পৃথিবীতে চলে যায়। কাজেই দণ্ডে তড়িৎের প্রকাশ হয় না। যদি পিতলের দণ্ড হাতে না ধরে একটি কাঠের হাতলের সাহায্যে ধরা যায় তবে দেখা যাবে, দণ্ড তড়িৎতাহিত হয়েছে। এস্থলে কাঠের ভিতর দিয়ে তড়িৎ সহজে চলাচল করতে পারে না বলে তড়িৎ দণ্ডে আবদ্ধ থাকে। অতএব আমরা এই সিদ্ধান্তে আসতে পারি যে, কোনো কোনো পদার্থ আছে যার ভিতর দিয়ে তড়িৎ সহজে চলাচল করতে পারে এবং কোনো কোনো পদার্থের ভিতর দিয়ে সহজে চলাচল করতে পারে না। প্রথমোক্ত পদার্থকে তড়িৎের পরিবাহী (conductor) এবং শেষোক্ত পদার্থকে অপরিবাহী (non-conductor) বা অন্তরক (insulator) বলা হয়।

সাধারণত সব ধাতুই ভালো তড়িৎ পরিবাহী। এদের ভিতর আবার তামা, রূপা, অ্যালুমিনিয়াম খুব ভালো পরিবাহী। তোমরা লক্ষ করে থাকবে, বৈদ্যুতিক তার তামার তৈরি হয়। আজকাল বৈদ্যুতিক তার অ্যালুমিনিয়াম দিয়েও তৈরি করা হচ্ছে। ধাতব পদার্থ ছাড়া মাটি, নরদেহ, কার্বন, কয়লা, পারদ প্রভৃতি তড়িৎ পরিবাহীর উদাহরণ।

শুষ্ক বায়ু, কাচ, কাগজ, মোম, কাঠ, এবোনাইট, পোর্সিলেন, বেকালাইট প্রভৃতি অপরিবাহী বা অন্তরক পদার্থ; তোমরা নিশ্চয় দেখেছ টেলিফোনের তার বা বিদ্যুৎ-সরবরাহ ব্যবস্থার তার খাটাবার সময় ইলেকট্রিক পোস্টের সাথে তার সরাসরি যুক্ত করা হয় না; পোর্সিলেন বাটির (porcelain cup) মাধ্যমে খাটানো হয়। পোস্টের সাথে যুক্ত থাকলে পোস্ট দিয়ে সর্বদা মাটিতে তড়িৎ-ক্ষরণ (leakage of electricity) হবে এবং ঐ পোস্ট কোনো লোক স্পর্শ করলে তৎক্ষণাৎ সে তড়িৎ-স্পৃষ্ট হবে। পোর্সিলেন তড়িৎ অন্তরক; পোর্সিলেন বাটির মাধ্যমে তার খাটালে পোস্ট দিয়ে তড়িৎ-ক্ষরণ হবে না এবং ঐরকম বিপদের আশঙ্কা থাকবে না। পরীক্ষাগারে তড়িৎ-সংক্রান্ত কাজে যে সকল সংযোগী তার (connecting wires) ব্যবহার করা হয় তাতে রেশম বা সুতির কাপড়ের আবরণ থাকে। এটা অপরিবাহী বলে তারে তারে ঠেকে গেলেও কাজের বিঘ্ন হয় না। এই ধরনের তারকে অন্তরিত তার (insulated wire) বলা হয়।

মনে রাখতে হবে, কোনো পদার্থই সম্পূর্ণ অপরিবাহী নয়। ওপরে যে অপরিবাহী পদার্থের উদাহরণ দেওয়া হল তাদের ভিতর দিয়ে তড়িৎ তুলনামূলকভাবে খুব কম চলাচল করতে পারে বলে অপরিবাহী বলা হয়।

[দ্রষ্টব্য : জলীয়-বাষ্প তড়িতের পরিবাহী বলে স্থির তড়িতের কোনো পরীক্ষায় পরীক্ষাধীন বস্তুগুলিতে জলীয় বাষ্প থাকলে তড়িৎ সহজেই চলাচল করতে পারবে এবং বস্তুগুলিতে তড়িৎ আবদ্ধ থাকবে না। পরীক্ষা সাফল্যমণ্ডিত করতে হলে বস্তুগুলি শুষ্ক রাখতে হবে। বর্ষাকালে আবহাওয়া সিস্ত থাকে বলে স্থির তড়িতের পরীক্ষা ঐ সময়ে ভালো হয় না। শীতকালে আবহাওয়া শুষ্ক থাকে, পরীক্ষাও খুব সম্ভাব্যজনক হয়।]

1.3. ঘর্ষণে তড়িৎ সৃষ্টি (Electrification by rubbing) :

তোমরা ইতিমধ্যে জেনেছ যে দুই বস্তুকে ঘর্ষণ করে তড়িৎ সৃষ্টি করা যায়। একটি কাচের দণ্ড এবং এক টুকরো রেশমি কাপড় নিয়ে সূর্যকিরণে শুষ্ক ও উষ্ণ করো। তারপর রেশমি কাপড় দিয়ে কাচদণ্ডকে কয়েকবার ঘষে ছোটো ছোটো কাগজের টুকরোর সামনে ধরো। দেখবে কাচদণ্ড কাগজের টুকরোগুলিকে আকর্ষণ করছে। ঘর্ষণের ফলে কাচদণ্ড তড়িতাহিত হয় বলে কাচদণ্ড এরূপ আকর্ষণী শক্তি লাভ করে।

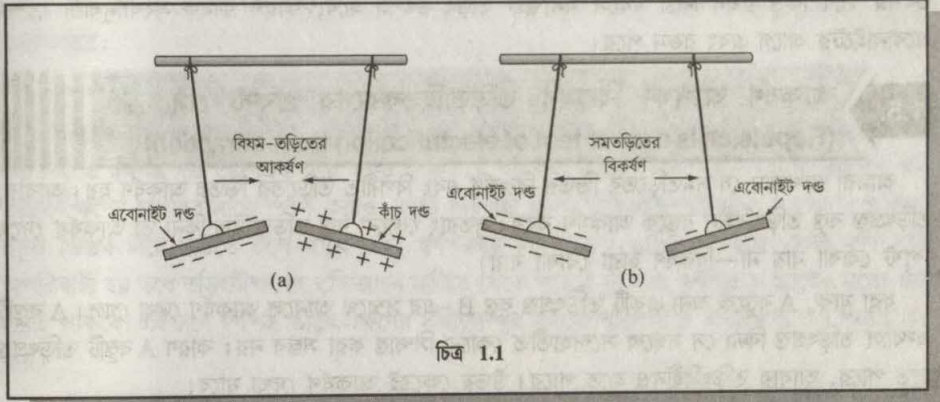
সুযোগ ও সুবিধা পেলে কোনো বস্তুতে ঘর্ষণজাত তড়িতের পরিমাণ বিপদজনকভাবে বৃদ্ধি পেতে পারে। পেট্রলভর্তি ট্রাক চলার সময় আধারে রাখা পেট্রলে খুব নড়াচড়া পড়ে। এরূপ ঘর্ষণের ফলে তড়িৎ উৎপন্ন হয়। এই তড়িৎ ক্রমশ সঞ্চিত হয়ে স্ফুলিঙ্গের সৃষ্টি করতে পারে। পেট্রল সাংঘাতিক দাহ্য পদার্থ বলে স্ফুলিঙ্গের দ্বারা প্রচণ্ড বিস্ফোরণের আশঙ্কা থাকে। ঘর্ষণজাত তড়িৎ যাতে সঞ্চিত না হতে পারে সেই উদ্দেশ্যে একটি ধাতব শিকল ট্রাকের দেহের সাথে যুক্ত করে মাটি পর্যন্ত বুলিয়ে দেওয়া হয়। ট্রাক চলার সময় শিকল মাটিতে গড়াতে গড়াতে যায়। এতে ঘর্ষণজাত তড়িৎ উৎপন্ন হবার সঙ্গে সঙ্গে শিকলের মাধ্যমে মাটিতে চলে যায়—সঞ্চিত হবার সুযোগ পায় না।

1.4. দুই বিপরীত ধরনের তড়িতাধান

(Two opposite kinds of electric charge) :

একটি কাচদণ্ডকে সিল্ক দ্বারা ঘষে তড়িতাহিত করো এবং একগাছা সিল্কের সুতোর সাহায্যে একটি অবলম্বন হতে বুলিয়ে দাও [চিত্র 1.1 (a)]। আর একটি এবোনাইট দণ্ডকে পশম দ্বারা ঘষে তড়িতাহিত করার পর কাচ দণ্ডের কাছে একই অবলম্বন হতে বুলিও। দেখা যাবে দণ্ড দুটি পরস্পরকে আকর্ষণ করে দুই প্রান্তকে কাছাকাছি এনেছে।

এবার দুটি এবোনাইট দণ্ডকে পশম দ্বারা ঘষে একইভাবে তড়িৎতাহিত করো এবং পাশাপাশি বুলাও [চিত্র 1.1 (b)]। এবার দেখা যাবে যে দণ্ড দুটি পরস্পরকে বিকর্ষণ করে প্রান্তদ্বয়কে পরস্পর হতে দূরে



চিত্র 1.1

সরিয়ে দিয়েছে।

দুটি একই প্রকার দণ্ডকে একই জিনিস দিয়ে ঘর্ষণ করলে স্বভাবতই আমরা ধরে নিই যে দুই দণ্ডেই সমপ্রকার তড়িৎ সৃষ্টি হয়েছে। আবার দুটি ভিন্ন দণ্ডকে দুই প্রকার জিনিস দিয়ে ঘর্ষণ করলে, আমরা মনে করি তাতে ভিন্ন প্রকারের তড়িৎ উৎপন্ন হয়েছে। এইরূপ ধারণার পরিপ্রেক্ষিতে উপরোক্ত পরীক্ষার ফলাফল বিচার করলে এই সিদ্ধান্ত করা যায় যে কাচ ও এবোনাইট দণ্ডে বিপরীত ধরনের তড়িৎতাহান আছে এবং তারা পরস্পরকে আকর্ষণ করছে। তেমনি দুই এবোনাইট দণ্ডে একই ধরনের তড়িৎতাহান আছে এবং তারা পরস্পরকে বিকর্ষণ করছে। এথেকে আমরা স্থির তড়িৎ বিজ্ঞানের নিম্নলিখিত মূলসূত্রটি পাই:

সমজাতীয় তড়িৎ পরস্পরকে বিকর্ষণ করে এবং বিপরীত জাতীয় তড়িৎ পরস্পরকে আকর্ষণ করে।

বিজ্ঞানীগণ সর্বসম্মত ভাবে স্থির করেন যে সিল্ক দ্বারা ঘষা কাচদণ্ডে যে তড়িৎের উদ্ভব হয় তাকে ধনাত্মক (positive) তড়িৎ এবং পশম দ্বারা ঘষা এবোনাইটে যে তড়িৎের উদ্ভব হয় তাকে ঋণাত্মক (negative) তড়িৎ বলা হবে। ‘ধনাত্মক’ এবং ‘ঋণাত্মক’ এই নামের অন্য কিছু তাৎপর্য নেই; শুধু এটাই বুঝায় যে, তড়িৎ দু-প্রকারের।

এখানে একটি বিষয় উল্লেখ করা প্রয়োজন। কাচকে যে-কোনো জিনিস দিয়ে ঘষলে কাচে সর্বদা ধনাত্মক তড়িৎ বা এবোনাইটকে যে-কোনো জিনিস দিয়ে ঘষলে এবোনাইটে সর্বদা ঋণাত্মক তড়িৎ উৎপন্ন হবে, তা ঠিক নয়। কোনো বস্তুকে অপর একটি বস্তু দিয়ে ঘষলে, কোনটিতে কি ধরনের তড়িৎ উৎপন্ন হবে তা ঐ দুই পদার্থের প্রকৃতির ওপর নির্ভর করে। নীচে একটি তালিকা দেওয়া হল। এই তালিকার যে-কোনো দুইটি বস্তু ঘষলে ক্রমিক সংখ্যা অনুযায়ী প্রথমটি ধনাত্মক এবং দ্বিতীয়টি ঋণাত্মক তড়িৎ পাবে।

- | | |
|---------------|-------------------------------|
| 1. পশম | 6. এবোনাইট |
| 2. কাচ | 7. গালা |
| 3. রেশম | 8. অ্যামবার |
| 4. মানবদেহ | 9. রজন (Resin) |
| 5. ধাতবপদার্থ | 10. গাটাপার্চা (Gutta percha) |

উপরের তালিকা হতে দেখা যায় যে একই বস্তুকে দুটি ভিন্ন বস্তু দিয়ে ঘর্ষণ করলে ধনাত্মক ও ঋণাত্মক দু-রকম তড়িৎ উৎপন্ন করা যায়। যেমন, এবোনাইটকে পশম দিয়ে ঘষলে এবোনাইটে ঋণাত্মক তড়িৎ উৎপন্ন হবে কিন্তু রজন দিয়ে ঘষলে ধনাত্মক তড়িৎ উৎপন্ন হবে, কারণ ক্রমিক সংখ্যানুযায়ী রেশম এবোনাইটের আগে এবং রজন পরে।

1.5.

আকর্ষণ অপেক্ষা বিকর্ষণ তড়িতাহিতকরণের প্রকৃষ্ট প্রমাণ

(Repulsion is a surer test of electrification than attraction) :

আমরা দেখলাম যে সমতড়িতের ভিতর বিকর্ষণ এবং বিপরীত তড়িতের ভিতর আকর্ষণ হয়। আবার, তড়িৎগ্রস্ত বস্তু তড়িৎবিহীন বস্তুকে আকর্ষণ করে। সুতরাং কোনো বস্তু তড়িতাহিত কিনা তা আকর্ষণ দেখে স্পষ্ট বোঝা যায় না—বিকর্ষণ দ্বারা বোঝা যায়।

ধরা যাক, A বস্তুকে অন্য একটি তড়িৎগ্রস্ত বস্তু B-এর সম্মুখে আনলে আকর্ষণ দেখা গেল। A বস্তুটি এস্থলে তড়িৎগ্রস্ত কিনা সে সম্বন্ধে সন্দেহাতীত কোনো সিদ্ধান্ত করা সম্ভব নয়; কারণ A বস্তুটি তড়িৎগ্রস্ত হতে পারে, আবার তড়িৎবিহীনও হতে পারে। উভয় ক্ষেত্রেই আকর্ষণ দেখা যাবে।

কিন্তু যদি উভয়ের ভিতর বিকর্ষণ লক্ষ করা যায় তবে A বস্তুটি যে তড়িৎগ্রস্ত সে সম্বন্ধে কোনো সন্দেহ থাকতে পারে না; কারণ বিকর্ষণ একমাত্র সমতড়িতের ভিতর ছাড়া অন্য কোনো ক্ষেত্রে হয় না। সুতরাং A বস্তুটিতে B-এর সমতড়িৎ বর্তমান অথবা A বস্তুটি তড়িৎগ্রস্ত।

এই কারণে বলা হয়, বিকর্ষণই তড়িতাহিতকরণের প্রকৃষ্ট প্রমাণ। উল্লেখ করা যেতে পারে, চুম্বকের বেলাতেও একই রকম ঘটনা ঘটে।

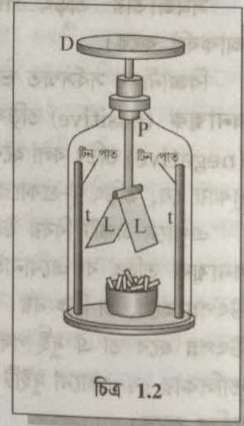
1.6.

তড়িতাধানের অস্তিত্ব নির্ণয়ের যন্ত্র

(Instrument for detection of electric charge) :

কোনো বস্তুতে তড়িৎ আধানের অস্তিত্ব ও প্রকৃতি সূক্ষ্মভাবে নির্ণয় করার উপযুক্ত যন্ত্র হল স্বর্ণপত্র তড়িৎবীক্ষণ। অষ্টাদশ শতাব্দীর শেষভাগে আব্রাহাম বেনেট নামে ইয়র্কশায়ারের জনৈক পাদরী এই যন্ত্রের উদ্ভাবন করেন।

স্বর্ণ-পত্র তড়িৎবীক্ষণ : 1.2 নং চিত্রে এই যন্ত্রের ছবি দেখানো হল। দুটি হালকা ও পাতলা সোনার পাত (L, L) একটি সরু ধাতব দণ্ড P-এর নিম্নপ্রান্তে সংযুক্ত। দণ্ডটি সাধারণত পিতলের তৈরি। পাত দুটি সোনার না হয়ে অ্যালুমিনিয়াম বা অন্য কোনো হালকা ধাতুরও হতে পারে। পিতলের দণ্ডটি একটি পাতলা কাচের দেওয়ালযুক্ত পাত্রের ভিতর রাখা থাকে এবং এবোনাইট বা অনুরূপ কোনো অন্তরক পদার্থ নির্মিত ছিপির ভিতর দিয়ে ঢুকানো থাকে। দণ্ডের ওপর প্রান্তে এবং পাত্রের বাইরে একটি ধাতব (পিতল) চাকতি D আটকানো। কোনো কোনো যন্ত্রে চাকতির পরিবর্তে বর্তুল (knob) থাকে। স্বর্ণপত্র দুটি কাচের দেওয়ালযুক্ত পাত্রের ভিতরে



চিত্র 1.2

থাকায় বায়ুপ্রবাহ কর্তৃক বাধাপ্রাপ্ত হয় না। দুটি টিনের পাত (t, t) স্বর্ণপত্রদ্বয়ের সম্মুখে এবং পাত্রের ভিতরের গায়ে আটকানো থাকে। টিনপাতসহ পাত্রের ধাতবভূমি (metallic base) সাধারণত ভূ-সংলগ্ন (earthed) থাকে। পাত্রস্থ বায়ু যাতে সর্বদা শুষ্ক থাকে সেজন্য এর ভিতর একটা বাটিতে কিছু জলশোষক ক্যালশিয়াম ক্লোরাইড রাখা থাকে। বায়ু ভিজে থাকলে স্বর্ণপত্রের কার্যে বিঘ্ন উপস্থিত হয়।

● **তড়িৎবীক্ষণের ব্যবহার :** বস্তু আহিত কিনা তার পরীক্ষা : কোনো বস্তু আহিত কিনা তা নির্ণয় করতে গেলে বস্তুকে তড়িৎবিহীন (uncharged) তড়িৎবীক্ষণের চাকতি D-এর নিকট আনতে হবে। বস্তুটি

আহিত হলে তড়িৎবীক্ষণের স্বর্ণপত্র দুটি ফাঁক হয়ে যাবে এবং কতটা ফাঁক হল তা থেকে বস্তুতে আধানের তীব্রতা (intensity) সম্বন্ধে মোটামুটি ধারণা করা যেতে পারে। যদি বস্তুটি আহিত না হয় তবে তাকে চাকতির কাছে আনলে স্বর্ণপত্রদ্বয় ফাঁক হবে না। এভাবে অতি অল্প পরিমাণ তড়িৎআধানের অস্তিত্বও নির্ধারণ করা সম্ভব।

● স্বর্ণপত্র তড়িৎবীক্ষণ দ্বারা পরিবাহী ও অপরিবাহীর শনাক্তকরণ :

যে-কোনো একপ্রকার তড়িৎ—ধনাত্মক অথবা ঋণাত্মক দ্বারা একটি স্বর্ণপত্র তড়িৎবীক্ষণকে আহিত কর। এতে স্বর্ণপত্র দুটি তড়িৎগ্রস্ত হয়ে একটু ফাঁক হয়ে থাকবে। এইবার পরীক্ষাধীন বস্তুকে মুহূর্তের জন্য তড়িৎবীক্ষণের চাকতির সাথে স্পর্শ করাও। বস্তুটি পরিবাহী হলে, তড়িৎবীক্ষণের তড়িৎ তৎক্ষণাৎ পরিবাহী বস্তুর ভিতর দিয়ে মাটিতে চলে যাবে এবং স্বর্ণপত্রদ্বয় নিম্নলিখিত (collapse) হবে। আর যদি বস্তুটি অপরিবাহী হয় তবে তড়িৎবীক্ষণের তড়িৎআধান মাটিতে যেতে পারবে না এবং স্বর্ণপত্রদ্বয় আগের মতো ফাঁক হয়েই থাকবে। এইভাবে স্বর্ণপত্র তড়িৎবীক্ষণের সাহায্যে খুব সহজে পরিবাহী ও অপরিবাহী বস্তু শনাক্ত করা যায়।

1.7.

ঘর্ষণে একই সঙ্গে সমপরিমাণ উভয় প্রকার তড়িৎের সৃষ্টি হয় (Friction produces simultaneously both kinds of electricity in equal amount) :

ঘর্ষণপ্রণালীতে একই সঙ্গে উভয়প্রকার তড়িৎের উৎপত্তি হয় এবং তাদের পরিমাণও সমান হয়। এটা নিম্নলিখিত সহজ পরীক্ষা দ্বারা প্রমাণ করা যায়।

পরীক্ষা : একটি এবোনাইট দণ্ড নাও। তার এক মাথায় একটি ফানেলের টুপি পরাও। টুপির সাথে একগাছা রেশমি সূতো যুক্ত কর যাতে হাত দিয়ে দণ্ড স্পর্শ না করে সূতোর সাহায্যে টুপিকে দণ্ড থেকে পৃথক করা যায় (চিত্র 1.3)।

এইবার ফানেলের টুপি দিয়ে দণ্ডকে ঘষলে তড়িৎের উদ্ভব হবে। উভয়কে পৃথক না করে একসঙ্গে একটি নিশুড়িৎ তড়িৎ বীক্ষণের কাছে আন। দেখবে, তড়িৎবীক্ষণের স্বর্ণপত্রের কোনো বিস্তারণ হল না। এথেকে বোঝা যায়, একসঙ্গে থাকাকালীন তাদের কোনো তড়িৎ নেই।

এইবার সূতো টেনে দণ্ড থেকে টুপিকে পৃথক করো এবং উভয়কে আলাদা আলাদা ভাবে তড়িৎগ্রস্ত তড়িৎবীক্ষণ যন্ত্র দ্বারা পরীক্ষা করো। দেখবে, দণ্ডে ঋণাত্মক তড়িৎ এবং টুপীতে ধনাত্মক তড়িৎ বর্তমান। দণ্ড ও টুপীতে বিপরীত ধর্মী তড়িৎ বর্তমান অথচ একসঙ্গে থাকাকালীন তারা কোনো তড়িৎের অস্তিত্ব দেখায় না—এর অর্থ এই যে উভয় বস্তুতে তড়িৎের পরিমাণ সমান কারণ সমপরিমাণ বিপরীত তড়িৎ পরস্পরের তড়িৎক্রিয়াকে প্রশমিত (neutralise) করে।

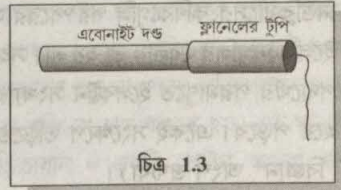
এই পরীক্ষা হতে সিদ্ধান্ত করা যায়, ঘর্ষণে সমপরিমাণ উভয়প্রকার তড়িৎের উদ্ভব হয়।

1.8.

তড়িৎের ইলেকট্রনীয় তত্ত্ব
(Electronic theory of electricity) :

তড়িৎ-সম্পর্কীয় বিভিন্ন ঘটনা ব্যাখ্যা করার জন্য ভিন্ন ভিন্ন সময়ে কতকগুলি তত্ত্ব প্রচলিত ছিল। এই সমস্ত তত্ত্বকে খণ্ডন করে যে তত্ত্ব আধুনিক বিজ্ঞান কর্তৃক গৃহীত তাকে ইলেকট্রনীয় তত্ত্ব বলা হয়। এই তত্ত্বের প্রবর্তকদের মধ্যে অন্যতম হলেন বিশিষ্ট পদার্থবিদ স্যার জে. জে. টমসন।

প্রত্যেক বস্তু ক্ষুদ্র ক্ষুদ্র কণাদ্বারা গঠিত ; এদের বলা হয় পরমাণু। এই পরমাণু আরও ক্ষুদ্র ক্ষুদ্র কণিকা দ্বারা



গঠিত। তাদের নাম দেওয়া হয়েছে ইলেকট্রন। ইলেকট্রন ঋণাত্মক তড়িৎসম্পন্ন। পরমাণুর ইলেকট্রন একটি ধনাত্মক তড়িৎসম্পন্ন কেন্দ্রক বা নিউক্লিয়াস (nucleus)-কে কেন্দ্র করে কতকগুলি সুনির্দিষ্ট কক্ষপথে সতত ঘূর্ণায়মান (1.4 নং চিত্র)। নিউক্লিয়াস দু-রকম কণাদ্বারা তৈরি। এরা হল—ধনাত্মক তড়িৎসম্পন্ন কণা প্রোটন ও নিস্তড়িৎ কণা নিউট্রন। একটি প্রোটনের ধনাত্মক তড়িৎের পরিমাণ একটি ইলেকট্রনের ঋণাত্মক তড়িৎের পরিমাণের সমান এবং একটি গোটা পরমাণুতে সমসংখ্যক প্রোটন ও ইলেকট্রন থাকে। সুতরাং একটি গোটা পরমাণুতে কোনোরকম তড়িৎ-ধর্মের প্রকাশ পায় না। বিভিন্ন মৌলের পরমাণুতে বিভিন্ন সংখ্যক ইলেকট্রন থাকে। ইলেকট্রনগুলি নিউক্লিয়াসকে কেন্দ্র করে বিভিন্ন খোলকে (shell) অবিরত ঘুরতে থাকে। সরলতম মৌল হাইড্রোজেন পরমাণুতে আছে মাত্র একটি ইলেকট্রন এবং নিউক্লিয়াসে আছে মাত্র একটি প্রোটন। দ্বিতীয় মৌল হিলিয়ামে আছে দুটি ইলেকট্রন এবং নিউক্লিয়াসে আছে দুটি প্রোটন ও দুটি নিউট্রন। সাধারণত মৌলের পারমাণবিক সংখ্যা (atomic number) তার পরমাণুতে প্রোটন অথবা ইলেকট্রনের সংখ্যা জ্ঞাপন করে এবং ভরসংখ্যা (mass number) নিউক্লিয়াস মোট কণিকার সংখ্যা (নিউট্রন + প্রোটন) জ্ঞাপন করে। যেমন কোনো মৌলের পারমাণবিক সংখ্যা Z হলে তার পরমাণুতে Z সংখ্যক ইলেকট্রন আছে এবং নিউক্লিয়াসেও Z সংখ্যক প্রোটন আছে। আবার ঐ পরমাণু ভরসংখ্যা A হলে নিউক্লিয়াসে প্রোটন ও নিউট্রনের সমবেত সংখ্যা হবে A ; অতএব, ঐ নিউক্লিয়াসে নিউট্রনের সংখ্যা $= A - Z$ ।



চিত্র 1.4

যেহেতু গোটা পরমাণুতে ইলেকট্রন ও প্রোটনের সংখ্যা সমান, সেইহেতু গোটা পরমাণু নিস্তড়িৎ। নিউক্লিয়াসের কণিকাবলি পরস্পরের সাথে দৃঢ়ভাবে আবদ্ধ—তাদের হেরফের করা সহজসাধ্য নয়। কিন্তু ইলেকট্রনগুলির বেলায় তা হয় না। সহজ প্রক্রিয়ায় পরমাণু হতে ইলেকট্রন বিচ্ছিন্ন করা যায়। কোনো রকমে পদার্থের পরমাণুতে ইলেকট্রন সংখ্যার আধিক্য বা হ্রাস করতে পারলে পরমাণু ঋণতড়িৎ বা ধনতড়িৎগ্রস্ত হয়ে পড়বে। একেই সংক্ষেপে তড়িৎের ইলেকট্রনীয় তত্ত্ব বলে। (বিশদ বিবরণের জন্য ‘আধুনিক পদার্থ বিজ্ঞান’ অংশ দ্রষ্টব্য)।

ইলেকট্রন প্রত্যেক পদার্থের পরমাণুতে বর্তমান। কাজেই একে পদার্থের প্রাথমিক উপাদান (fundamental constituent) বলা যেতে পারে। ইলেকট্রন ওজনে সর্বাপেক্ষা হালকা এবং তার তড়িৎ-পরিমাণ সর্বাপেক্ষা কম। পরীক্ষা করে দেখা গেছে প্রতি ইলেকট্রনের ভর $9 \times 10^{-31} \text{kg}$ এবং তড়িৎ-পরিমাণ $1.6 \times 10^{-19} \text{coulomb}$ অথবা $4.8 \times 10^{-10} \text{e.s.u.}$ -এর সমান। তড়িৎ-পরিমাণ সর্বাপেক্ষা কম হওয়াতে একে তড়িৎের ‘একক’ (unit) ধরা হয়।

ইলেকট্রনীয় তত্ত্ব দ্বারা ঘর্ষণজাত তড়িৎের ব্যাখ্যা

1.9.

(Explanation of frictional electricity according to the electronic theory) :

সাধারণ অবস্থায় প্রত্যেক পরমাণুতে নিউক্লিয়াসস্থিত ধনাত্মক তড়িতাধানকে প্রশমিত করার জন্য যে কয়টি ইলেকট্রন প্রয়োজন তা থাকে। কিন্তু প্রত্যেক পরমাণুরই ঐ প্রয়োজনীয় ইলেকট্রন সংখ্যার অতিরিক্ত ইলেকট্রনের প্রতি একটা আসক্তি বা আকর্ষণ থাকে। প্রয়োজনীয় সংখ্যার অতিরিক্ত ইলেকট্রনের প্রতি এই আকর্ষণ বিভিন্ন পরমাণুতে বিভিন্ন। তাই, যখন দুটি ভিন্ন বস্তুকে পরস্পরের সাথে সংস্পর্শে আনা হয় তখন, যে বস্তুতে উপরিউক্ত আকর্ষণ বা আসক্তি বেশি সেই বস্তু অপর বস্তু হতে কাছাকাছি ইলেকট্রনগুলিকে আকর্ষণ করে নেবে এবং ঋণাত্মক তড়িতে আহিত হবে। এই ধরনের ঘটনা ঘটে যখন এবোনাইট দণ্ডকে পশম দ্বারা ঘষা হয়। পশমের তুলনায় এবোনাইটের ইলেকট্রন-আসক্তি বেশি বলে এবোনাইট দণ্ড ঋণাত্মক তড়িৎ পায়

এবং পশমের ইলেকট্রনের ঘাটতি হওয়ায় তা ধনাত্মক তড়িতে আহিত হয়।

তেমনি রেশম দ্বারা কাচদণ্ড ঘষলে কাচদণ্ড হতে কিছু সংখ্যক ইলেকট্রন বিচ্যুত হয়ে রেশমে যুক্ত হয়। কারণ কাচদণ্ডের তুলনায় রেশমের ইলেকট্রন-আসক্তি বেশি। তাই, রেশম ঋণাত্মক তড়িতে এবং কাচদণ্ড ধনাত্মক তড়িতে আহিত হয়।

আমরা জানি ঘর্ষণে উভয় প্রকার তড়িৎ সমপরিমাণে সৃষ্টি হয়। এটাও উপরিউক্ত ব্যাখ্যা হতে সহজে বোঝা যায়, কারণ, একবস্তু যে-সংখ্যক ইলেকট্রন হারাবে অন্য বস্তুটি ঠিক সেই সংখ্যক ইলেকট্রন লাভ করবে। প্রতি ইলেকট্রনের তড়িতাধানের পরিমাণ সমান বলে উভয় বস্তুতে সমপরিমাণ তড়িতের উদ্ভব হবে। সুতরাং একই সঙ্গে দুই বস্তুতে বিপরীত তড়িতের সৃষ্টি হবে এবং তাদের পরিমাণও হবে সমান।

এখানে উল্লেখযোগ্য যে ইলেকট্রনীয় তত্ত্ব অনুযায়ী অন্তরক ও পরিবাহীর ভিতর পার্থক্য এই যে অন্তরক পদার্থের পরমাণুতে ইলেকট্রনগুলি দৃঢ়ভাবে আবদ্ধ। তারা স্বাধীনভাবে ইচ্ছামত চলাচল করতে পারে না। আর পরিবাহীর ইলেকট্রনগুলি পরমাণুতে শিথিলভাবে সংযুক্ত থাকে এবং স্বচ্ছন্দে এক পরমাণু হতে অন্য পরমাণুতে চলাচল করতে পারে।

1.10.

তড়িতাধানের কোয়ান্টায়ন

(Quantisation of electric charge) :

এই বিশ্বে কেবল ইলেকট্রন ও প্রোটন তড়িৎদ্বাহী কণিকা হলে, অন্য সকল তড়িতাধান প্রোটন বা ইলেকট্রনের আধানের (e) অখণ্ড গুণিতক (integral multiple) হবে। কোনো বস্তুতে n_1 সংখ্যক প্রোটন ও n_2 সংখ্যক ইলেকট্রন থাকলে, ঐ বস্তুর নিট তড়িতাধান হবে $n_1(e) + n_2(-e) = (n_1 - n_2)e$ ।

অবশ্য প্রোটন ও ইলেকট্রন ছাড়া আরও অনেক তড়িৎদ্বাহী প্রাথমিক (elementary) কণিকা আছে কিন্তু তাদের সকলের তড়িতাধানই e -এর অখণ্ড গুণিতক। এই বিশ্বে ইলেকট্রন বা প্রোটনের তড়িৎ পরিমাণ সর্বাপেক্ষা কম। কাজেই কোনো বস্তুর তড়িতাধান সর্বদা ইলেকট্রন আধানের অখণ্ড গুণিতক। বস্তুর ঐ আধান q হলে $q = \pm ne$ যেখানে $n = 1, 2, 3 \dots$ ইত্যাদি n -এর ভগ্নাংশ হয় না। তার তড়িতাধানের বৃদ্ধি বা হ্রাস করতে হলে সর্বদা ধাপে ধাপে e পরিমাণ তড়িতাধান দ্বারা বৃদ্ধি বা হ্রাস করতে হয়। এই ঘটনাকে তড়িতাধানের কোয়ান্টায়ন বলা হয়। সুতরাং 1 কোয়ান্টা তড়িতাধান = একটি প্রোটন অথবা একটি ইলেকট্রন তড়িতাধান (e)।

1.11.

তড়িতাধানের সংরক্ষণ (Conservation of electric charge) :

আমরা 1.5 অনুচ্ছেদে দেখেছি যে একটি কাচদণ্ডকে রেশমি কাপড় দিয়ে ঘষলে কাচদণ্ড হতে ইলেকট্রন রেশমি কাপড়ে পরিবাহিত হয়ে রেশমি কাপড়কে নেগেটিভ ও কাচদণ্ডকে পজিটিভ তড়িতে আহিত করে। দেখা যায় রেশমি কাপড়ের মোট নেগেটিভ তড়িৎ কাচদণ্ডের মোট পজিটিভ তড়িতের ঠিক সমান। সুতরাং রেশম-কাচ এই বিচ্ছিন্ন সংস্থার মোট তড়িতাধান অপরিবর্তিত থাকে — অর্থাৎ ঘষার পূর্বে ও পরে মোট তড়িতাধান শূন্য থাকে। সর্বদা এরূপ ঘটনা ঘটে বলে এথেকে তড়িতাধানের সংরক্ষণ সূত্র প্রস্তাবিত হয়েছে। এই সূত্রানুসারে যে-কোনো বিচ্ছিন্ন সংস্থার (isolated system) মোট তড়িতাধান (পজিটিভ ও নেগেটিভ আধানের বীজগাণিতিক সমষ্টি) সর্বদা সংরক্ষিত থাকে। শক্তি, ভর ইত্যাদি সংরক্ষণ সূত্রের মতো আধানের সংরক্ষণ সূত্রও একটি সর্বজনীন সূত্র।

এই সূত্রের পরিপ্রেক্ষিতে স্পষ্ট বোঝা যায় যে ‘তড়িৎ সৃষ্টি করা’ বা ‘বিনাশ করা’—প্রভৃতির ন্যায় উক্তি বিজ্ঞানসম্মত নয়। তড়িৎ সৃষ্টি করা যায় না, বিনাশ করাও যায় না—তড়িতাধান কেবলমাত্র সংস্থার এক অংশ হতে অন্য অংশে স্থানান্তরিত হতে পারে। একটি বস্তু কোনো আধানে আহিত হলে অন্যত্র অবশ্যই সমপরিমাণ বিপরীত আধানের উদ্ভব হবে। বিকল্পে একথা বলা যায় যে তড়িতাহিতকরণ পদ্ধতি আধান উৎপন্ন করে না; পজিটিভ ও নেগেটিভ—এই দুই ধরনের আধানকে পৃথক করে দেয়।

1.12. পরাবৈদ্যুতিক মেরুবর্তিতা (Dielectric polarisation) :

কঠিন পদার্থে পরমাণুগুলি পারস্পরিক বলের প্রভাবে নিজস্ব জায়গা অধিকার করে থাকে। কোনো কোনো কঠিন পদার্থে পরমাণুর ইলেকট্রনগুলি ঐ কঠিন পদার্থের জ্যামিতিক সীমারেখার ভিতরে থেকেই পরমাণুতে আলগাভাবে আবদ্ধ থাকে। ঐ ইলেকট্রনগুলিকে বলা হয় পরিবাহী ইলেকট্রন এবং যে বস্তুতে ঐ ধরনের ইলেকট্রন থাকে তাকে পরিবাহী (conductor) বলা হয়। বিভিন্ন পরিবাহীতে অবশ্য পরিবাহী ইলেকট্রনগুলির চলাফেরার স্বাধীনতার মাত্রা বিভিন্ন। আবার যে সকল বস্তুতে পরিবাহী ইলেকট্রনের আবদ্ধ চলাফেরার স্বাধীনতা খুব কম, তাদের বলা হয় অন্তরক (insulator) বা পরা-বিদ্যুৎ (dielectrics)। সুতরাং পদার্থ গঠনের ইলেকট্রন তত্ত্ব অনুযায়ী পরিবাহী ও পরা-বিদ্যুতের ভিতর তফাত এই যে প্রথমোক্ত বস্তুতে প্রচুর স্বাধীন ইলেকট্রন বর্তমান এবং শেষোক্ত বস্তুতে ইলেকট্রনগুলি পরমাণুতে দৃঢ়ভাবে আবদ্ধ।

পরিবাহীতে প্রচুর স্বাধীন ইলেকট্রন থাকায়, পরিবাহী কোনো বৈদ্যুতিক পীড়ন সহ্য করে না; আর পরাবিদ্যুতে ইলেকট্রনগুলি পরমাণুতে দৃঢ়ভাবে আবদ্ধ থাকায় এরা বৈদ্যুতিক পীড়ন সহ্য করতে সক্ষম।

কোনো কোনো পরাবৈদ্যুতিক পদার্থের অণুগুলির প্রত্যেকটির মোট ধনাত্মক তড়িৎআধানের (অর্থাৎ প্রত্যেকটি অণুর সকল প্রোটনের আধান) কেন্দ্র এবং মোট ঋণাত্মক তড়িৎআধানের (অর্থাৎ প্রত্যেকটি অণুর সকল ইলেকট্রনের আধান) কেন্দ্র এক বিন্দুতে মিলিত হতে পারে। যদি মিলিত হয় তবে সেইসব পদার্থকে অমেরুবর্তী (non-polar) বলে। কোনো অমেরুবর্তী পরাবৈদ্যুতিক পদার্থকে তড়িৎক্ষেত্রে স্থাপন করলে, অণুগুলির ধনাত্মক আধানের কেন্দ্র তড়িৎ ক্ষেত্রের অভিমুখে এবং ঋণাত্মক আধানের কেন্দ্র বিপরীত দিকে সামান্য সরে যায়। ধনাত্মক ও ঋণাত্মক আধানের কেন্দ্রদ্বয় পরস্পর থেকে পৃথক হয়ে যাবার ফলে অণুটি একটি তড়িৎ দ্বিমেরু (electric dipole) গঠন করে। একে আবিষ্ট দ্বিমেরু বলা হয় এবং ঐ দ্বিমেরুর ভ্রামক-কে (moment) দ্বিমেরু ভ্রামক বলা হয়। পরাবিদ্যুতের ঐ অবস্থাকে বলা হয় মেরুবর্তিতা (polarisation)।

কিছু কিছু পরাবিদ্যুতের অণুতে—যেমন জলের অণুতে আপনা হতেই বিপরীত আধানদ্বয় স্থায়ীভাবে স্থানচ্যুত হয়ে থাকে। বাইরের কোনো তড়িৎ ক্ষেত্রের প্রভাব ছাড়াই জলের অণু (H_2O), নাইট্রোজেন অক্সাইড অণু (N_2O) মেরুবর্তী অণুর উদাহরণ। এরা আপনা থেকেই মেরুবর্তিতা লাভ করে।

পরিবাহী-পৃষ্ঠে আধান বণ্টন

(Distribution of charge on a conductor)

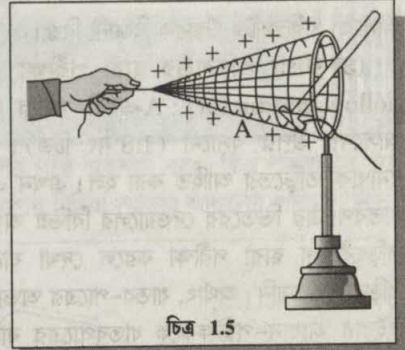
1.13.

আহিত পরিবাহীর আধান সর্বদা পরিবাহীর ওপরের পৃষ্ঠে অবস্থান করে (Charge always resides on the outer surface of a conductor) :

যখন কোনো পরিবাহীকে তড়িৎআহিত করা হয় তখন দেখা যায় যে, ঐ আধান সর্বদা পরিবাহীর ওপরের পৃষ্ঠে অবস্থান করে। বস্তুত পরিবাহীকে আধান দেওয়া মাত্রই তা পরিবাহীর বাহিরের পৃষ্ঠে ছড়িয়ে পড়ে। এই প্রসঙ্গে ফ্যারাডের একটি ইতিহাস প্রসিদ্ধ পরীক্ষা আছে। দৈর্ঘ্যে, প্রস্থে ও উচ্চতায় প্রায় 4 মিটার করে চৌকোণা একটি বাক্স তৈরি করে তিনি তার বহিরাবরণ টিনের পাত দিয়ে মুড়ে দেন। অতঃপর, তড়িৎের অস্তিত্ব পরীক্ষার উপযোগী কয়েকটি যন্ত্রসহ নিজে বাক্সের মধ্যে ঢুকে দরজা বন্ধ করে দেন। তড়িৎযন্ত্রের সাহায্যে ঐ বাক্সকে এত প্রচুর পরিমাণ তড়িৎ আহিত করা হল যে টিনের পাত থেকে বাইরের দিকে তড়িৎস্ফুলিঙ্গ (electric spark) হতে দেখা গেল। কিন্তু বাক্সের অভ্যন্তরে ফ্যারাডে কোনোরূপ তড়িৎ-স্পৃষ্ট হলেন না বা যন্ত্রপাতিতে তড়িৎের অস্তিত্ব ধরা পড়ল না। নিম্নবর্ণিত

কয়েকটি সহজ পরীক্ষা দ্বারাও উপরিউক্ত ঘটনা প্রমাণ করা যায়।

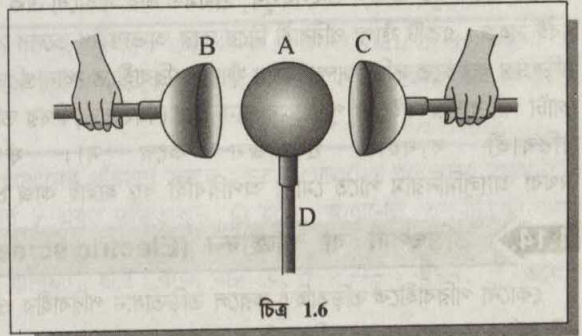
(1) ফ্যারাডের প্রজাপতি জাল পরীক্ষা : A-একটি শঙ্কু আকৃতির মসলিন বা সুতোর জাল। জালটি একটি আংটার সাথে (1.5 নং চিত্র) আটকানো। আংটাটি অন্তরক হাতলের ওপর স্থাপিত। জালের সরু প্রান্তে দুই গাছা লম্বা রেশম সুতো যুক্ত আছে। এই সুতো টেনে জালকে উল্টানো যায়। কোনো তড়িৎ-যন্ত্রের সাহায্যে জালকে তীব্র আধানে আহিত করো। এইবার একটি আধান-পরীক্ষক (proof-plane) নিয়ে জালের ভিতরের পিঠে ছোঁয়াও। আধান-পরীক্ষককে তড়িৎবীক্ষণের কাছে আনলে স্বর্ণপত্রের কোনো বিস্তারণ দেখা যাবে না। এটা প্রমাণ করে, জালের ভিতরের পিঠে কোনো আধান নেই। এইবার আধান-পরীক্ষককে জালের বাইরের পিঠে ছোঁয়াও। আধান পরীক্ষকে তড়িৎবীক্ষণের কাছে আনলে তৎক্ষণাৎ পাত দুটি ফাঁক হয়ে যাবে। এটা প্রমাণ করে জালের বাইরের পিঠ তড়িৎগ্রস্ত।



চিত্র 1.5

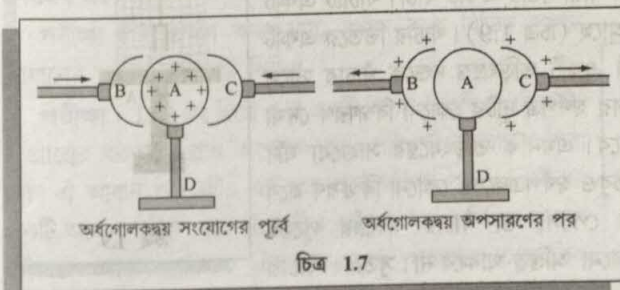
এইবার সুতো টেনে জালকে উল্টাও অর্থাৎ, বাইরের পিঠ ভিতরে এবং ভিতরের পিঠ বাইরে আনো। আধান-পরীক্ষক দ্বারা এই নতুন ভিতরের পিঠকে উপরিউক্ত উপায়ে পরীক্ষা করলে দেখা যাবে, ভিতরের পিঠে কোনো আধান নেই। উপরের পিঠ পরীক্ষা করলে দেখা যাবে, আধান উপরের পিঠে চলে এসেছে।*

(2) বিণ্ড-এর পরীক্ষা : A একটি ধাতব গোলক। একটি অন্তরিত হাতলের (D) উপরে এটা স্থাপিত। B ও C দুটি পাতলা ধাতব অর্ধগোলক। এরা A-গোলককে সম্পূর্ণ আবৃত করতে পারে। এই দুটি অর্ধগোলকের সাথে অন্তরিত হাতল যুক্ত আছে [1.6 নং চিত্র]। A-গোলককে তড়িৎবাহিত করা হল। এইবার অর্ধগোলক দুটি দ্বারা A-কে সম্পূর্ণ আবৃত করা হল কিন্তু A-র সাথে অর্ধগোলক দুটির সংযোগ করা হল না। অর্ধগোলক দুটিকে অন্তরিত হাতল দ্বারা সরিয়ে এনে আলাদাভাবে তড়িৎবীক্ষণ দ্বারা পরীক্ষা করলে দেখা যাবে, তারা কোনো তড়িৎ পায়নি।



চিত্র 1.6

পুনরায় অর্ধগোলকদ্বয় কর্তৃক A-কে আবৃত করা হল কিন্তু এইবার উভয়ের ভিতর সংযোগ করা হল। এখন অর্ধগোলকদ্বয়কে সরিয়ে নিয়ে পরীক্ষা করলে দেখা যাবে, A-গোলকে কোনো আধান নেই। সব আধান অর্ধগোলকদ্বয়ে চলে এসেছে। [চিত্র 1.7]। এর কারণ কী?

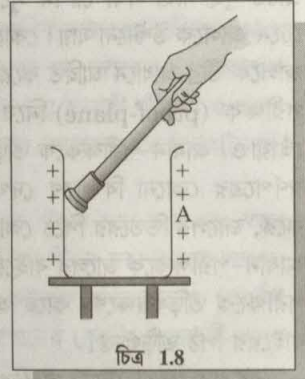


চিত্র 1.7

[* ফ্যারাডে যখন প্রথম এই পরীক্ষা করেন তখন প্রজাপতি-ধরা জাল ব্যবহার করেছিলেন বলে পরীক্ষাটিকে প্রজাপতি জাল পরীক্ষা বলা হয়।]

যখন অর্ধগোলকদ্বয় দ্বারা A-কে আবৃত করে উভয়কে স্পর্শ করানো হল তখন উভয়ে মিলে একটি একক (single) পরিবাহীতে পরিণত হল যার উপরের পিঠ হল অর্ধগোলক দুটির উপরের পিঠ; সুতরাং এই অবস্থায় আধান পরিবাহীর উপরের পিঠে আসবে। অর্থাৎ, A-গোলকের আধান অর্ধগোলকদ্বয়ের উপরের পিঠে চলে আসবে। পরীক্ষাটির উদ্ভাবক বিজ্ঞানী বিও।

(3) ফাঁপা পরিবাহীর দ্বারা পরীক্ষা (Experiment with a hollow conductor) : A-একটি গভীর ধাতবপাত্র একটি অন্তরক আসনের উপর বসানো (1.8 নং চিত্র)। পাত্রকে তীব্র (strong) ধনাত্মক তড়িৎের আহিত করা হল। এখন একটি আধান-পরীক্ষককে ধাতবপাত্রের ভিতরের দেওয়ালের বিভিন্ন অংশে স্পর্শ করিয়ে স্বর্ণপত্র তড়িৎবীক্ষণ দ্বারা পরীক্ষা করলে দেখা যাবে যে, আধান-পরীক্ষক তড়িতাহিত হয়নি। অর্থাৎ, ধাতব-পাত্রের অভ্যন্তরে কোনো আধান নেই। এইবার আধান-পরীক্ষককে ধাতবপাত্রের বাইরের দেওয়ালের বিভিন্ন অংশে স্পর্শ করানো হল এবং আধান-পরীক্ষককে তড়িৎবীক্ষণের কাছে আনা হল। দেখা যাবে, স্বর্ণপত্রদ্বয় বিস্তারিত হয়েছে। এতে প্রমাণিত হয়, তড়িতাহিত ফাঁপা পরিবাহীর আধান পরিবাহীর বাইরের পৃষ্ঠে অবস্থান করে।



চিত্র 1.8

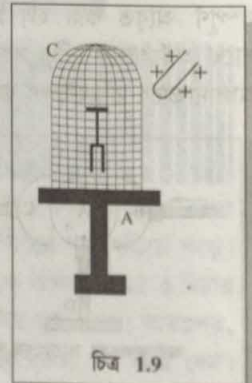
সুতরাং উপরোক্ত পরীক্ষাগুলি হতে সিদ্ধান্ত করা যায়, আহিত পরিবাহীর আধান পরিবাহীর বাইরের পৃষ্ঠে অবস্থান করে, ভিতরের পৃষ্ঠে করে না।

এই ঘটনা দুই কারণে তাৎপর্যপূর্ণ, প্রথমত এর সাহায্যে এক বস্তু হতে অন্য বস্তুতে তড়িৎের স্থানান্তর খুবই সহজ। একটি ফাঁপা পরিবাহী নিয়ে তার অভ্যন্তরীণ তলের সাথে কোনো তড়িৎগ্রস্ত বস্তু স্পর্শ করলে তড়িৎগ্রস্ত বস্তু হতে তড়িৎ সম্পূর্ণভাবে ফাঁপা পরিবাহীতে স্থানান্তরিত হবে। কারণ, তড়িৎের ধর্মই হল একটা গোটা পরিবাহীর বাইরের পৃষ্ঠে অবস্থান করা। দ্বিতীয়ত, স্থির তড়িৎ-বিজ্ঞানের পরীক্ষায় নিরেট (solid) পরিবাহী ব্যবহার প্রয়োজন করে না; ফাঁপা পরিবাহী বা টিনপাত অথবা অ্যালুমিনিয়াম পাত্রে মোড়া অপরিবাহী বস্তু হলেই কাজ চলে যায়।

1.14. তড়িৎপর্দা বা আচ্ছাদন (Electric screen) :

কোনো পরিবাহীকে তড়িতাহিত করলে তড়িতাধান পরিবাহীর ওপরের পৃষ্ঠে অবস্থান করে — তড়িৎের এই ধর্মকে অবলম্বন করে তড়িৎপর্দা বা আচ্ছাদন গঠন করা যেতে পারে — অর্থাৎ, কোনো আবদ্ধ স্থানকে তড়িৎের প্রভাব হতে মুক্ত রাখা যেতে পারে। নিম্নবর্ণিত পরীক্ষা হতে এই ঘটনা বোঝা যাবে।

পরীক্ষা : C তামার তারের জাল দ্বারা তৈরি একটি খাঁচা। খাঁচাটি একটি অন্তরক আসন A-র ওপর বসানো আছে (চিত্র 1.9)। খাঁচার ভিতরে একটি তড়িৎবীক্ষণ রাখা আছে। এখন যদি একটি তড়িৎগ্রস্ত দণ্ডকে খাঁচার সাথে স্পর্শ করানো যায় তবে তড়িৎবীক্ষণের স্বর্ণপত্র দুটির কোনো বিস্তারণ দেখা যাবে না যদিও খাঁচাটি তড়িৎগ্রস্ত হবে। এমনকি তড়িৎযন্ত্রের সাহায্যে যদি খাঁচাকে তীব্র তড়িতাহিত করা যায় তবুও স্বর্ণপত্রদ্বয়ের কোনো বিস্তারণ হবে না। এর কারণ, খাঁচা তড়িতাধান পেলে, তা খাঁচার বাইরের পৃষ্ঠেই থাকবে—খাঁচার ভিতর তড়িৎের কোনো অস্তিত্ব থাকবে না। সুতরাং খাঁচার অভ্যন্তর তড়িৎের প্রভাব হতে মুক্ত থাকবে।



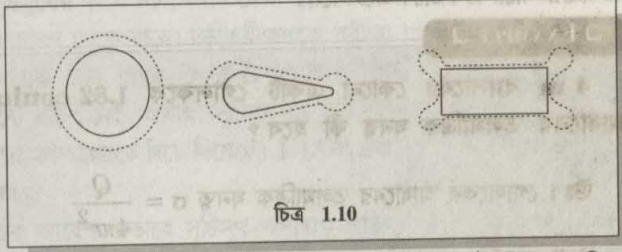
চিত্র 1.9

এই প্রণালীর সাহায্যে তড়িৎ সংক্রান্ত সুবেদী (sensitive) যন্ত্রপাতিগুলিকে বহিরাগত ও অকস্মাৎ

উৎপন্ন তড়িৎের প্রভাব হতে মুক্ত রাখা হয়। প্রসঙ্গাত, উল্লেখ করা যেতে পারে, চুম্বকের ক্ষেত্রেও এই ধরনের পর্দা সৃষ্টি করা যায়।

1.15. পরিবাহী পৃষ্ঠে আধান বণ্টন (Distribution of charge on a conductor) ও আধানের তলমাত্রিক ঘনত্ব (Surface density of charge) :

আমরা দেখলাম, আহিত পরিবাহীর আধান পরিবাহীর ওপর পৃষ্ঠে অবস্থান করে। কিন্তু পরিবাহীর পৃষ্ঠে সর্বত্র আধানের পরিমাণ সমান হয় না। পরিবাহীর আকারের ওপর বিভিন্ন স্থানের আধানের পরিমাণ নির্ভর করে। পৃষ্ঠের যে অংশের বক্রতা বেশি বা যে অংশ তীক্ষ্ণাঙ্গ সেই অংশে আধানের পরিমাণ বেশি হয়।



চিত্র 1.10

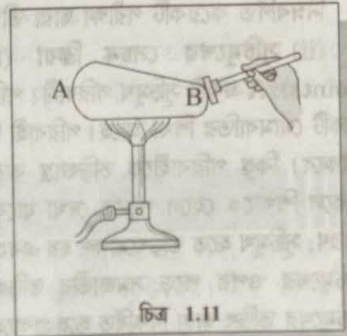
1.10 নং চিত্রে বিভিন্ন আকারের তড়িৎগ্রস্ত পরিবাহীর পৃষ্ঠে আধানের পরিমাণ কীরূপ হবে তা দেখানো হয়েছে। পরিবাহীর পৃষ্ঠের যে-কোনো বিন্দু হতে কাটা কাটা লাইনের দূরত্ব ঐ বিন্দুর তড়িৎ-পরিমাণের সমানুপাতিক বোঝাচ্ছে। প্রথম পরিবাহীটি গোলাকার হওয়ায় তার পৃষ্ঠের সর্বত্র আধানের পরিমাণ সমান; কিন্তু অন্য দুটি পরিবাহীতে তা হয়নি।

সংজ্ঞা : পরিবাহীর পৃষ্ঠে যে-কোনো বিন্দুর চতুর্দিকে যদি একক ক্ষেত্রফল (unit area) কল্পনা করা হয় তবে ঐ ক্ষেত্রফলে যে পরিমাণ আধান থাকবে তাকে ঐ বিন্দুর আধানের তলমাত্রিক ঘনত্ব বলা হয়।

গোলকের ক্ষেত্রে, তার পৃষ্ঠে সর্বত্র আধানের পরিমাণ সমান হওয়ায় গোলকের আধানের তলমাত্রিক ঘনত্ব সর্বত্র সমান। গোলকের ব্যাসার্ধ r এবং তড়িৎআধান Q হলে, আধানের তলমাত্রিক ঘনত্ব $\sigma = \frac{Q}{4\pi r^2}$; তলমাত্রিক ঘনত্বের এই রাশিমালা হতে বোঝা যায় যে, $\sigma \propto \frac{1}{r^2}$; এখন, $\frac{1}{r}$ তলের কোনো বিন্দুর বক্রতা (curvature) পরিমাপ করে, অতএব বলা যায় কোনো বিন্দুর আধানের তলমাত্রিক ঘনত্ব ঐ বিন্দুর বক্রতার $\left(\frac{1}{r}\right)$ বর্গের সমানুপাতিক। এটা যে-কোনো আকৃতির পরিবাহীর ক্ষেত্রেই প্রযোজ্য।

পরীক্ষা দ্বারা প্রমাণ করা যায়, অসম বস্তুর বিভিন্ন স্থানে আধানের তলমাত্রিক ঘনত্ব বিভিন্ন।

পরীক্ষা : 1.11 নং চিত্রে AB একটি অসম আকৃতির পরিবাহী। A প্রান্তের বক্রতা B প্রান্ত অপেক্ষা কম। পরিবাহীকে আহিত করা হল। ঐ আধান পরিবাহীর বাইরের পৃষ্ঠে ছড়িয়ে পড়বে। এইবার একটি আধান পরীক্ষককে পরিবাহীর বাইরের পৃষ্ঠের বিভিন্ন অংশে ছোঁয়ালে আধান-পরীক্ষক এসব অংশের আধানের তলমাত্রিক ঘনত্ব অনুযায়ী আধান সংগ্রহ করবে। আধান-পরীক্ষককে স্বর্ণপত্র তড়িৎবীক্ষণের কাছে এনে তড়িৎবীক্ষণের পাতা দুটির বিস্ফারণ লক্ষ করলে ঐ সকল বিন্দুর আধানের তলমাত্রিক ঘনত্বের মোটামুটি



চিত্র 1.11

ধারণা পাওয়া যাবে। এইভাবে পরীক্ষা করলে দেখা যাবে, A বিন্দুর বেলাতে পাতা দুটির বিস্তারণ B-বিন্দুর চাইতে কম অর্থাৎ, A বিন্দুর আধানের তলমাত্রিক ঘনত্ব B-বিন্দু অপেক্ষা কম। সুতরাং পরিবাহীর তীক্ষ্ণাংশ অংশে বেশি পরিমাণ আধান জমা হয়।

এই পরীক্ষায় দুটি বিষয়ের প্রতি লক্ষ রাখতে হবে। প্রথমত, পরিবাহীর কোনো বিন্দুতে আধান-পরীক্ষক স্পর্শ করিয়ে পরীক্ষা করার পর দ্বিতীয় বিন্দু স্পর্শ করার পূর্বে আধান-পরীক্ষককে নিশ্চিহ্ন করে নিতে হবে। দ্বিতীয়ত, প্রত্যেকবার আধান-পরীক্ষককে তড়িৎবীক্ষণ হতে সমান দূরে রাখতে হবে। এক্ষেত্রে একটির পরিবর্তে কয়েকটি আধান-পরীক্ষক নিয়ে পরীক্ষা করা উচিত। ঐ আধান-পরীক্ষকগুলির চাকতির ক্ষেত্রফল সব সমান হবে কিন্তু এমনভাবে ঝাঁকানো থাকবে যাতে পরিবাহীর বিভিন্ন অংশের বক্রতা অনুযায়ী তারা পরিবাহীর গায়ে ঠিকভাবে ঐঁটে বসে।

□ EXAMPLE □

4 m ব্যাসার্ধের কোনো একটি গোলককে 1.82 coulomb তড়িৎআধান দিলে তার আধানের তলমাত্রিক ঘনত্ব কী হবে?

উঃ। গোলকের আধানের তলমাত্রিক ঘনত্ব $\sigma = \frac{Q}{4\pi r^2}$

এখানে, $Q = 1.82 \text{ C}$ এবং $r = 4 \text{ m}$; কাজেই,

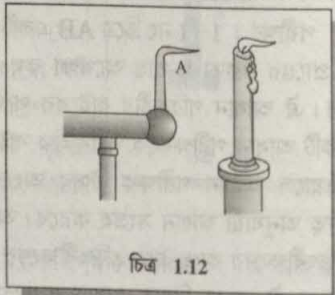
$$\sigma = \frac{1.82}{4 \times \frac{22}{7} \times (4)^2} = \frac{1.82 \times 7}{4 \times 22 \times (4)^2} = 9 \times 10^{-3} \text{ coulomb/m}^2.$$

1.16. তীক্ষ্ণাংশ পরিবাহীর ক্রিয়া (Action of points):

(i) তড়িৎমোক্ষণ ক্রিয়া (Discharging action): আমরা দেখলাম, পরিবাহীর তীক্ষ্ণাংশ প্রান্তে আধান বেশি পরিমাণ জমা হয়। যদি প্রান্ত খুবই তীক্ষ্ণ হয় তবে খুব অল্প জায়গায় বেশি পরিমাণ আধান জমা হবার ফলে তীক্ষ্ণাংশ প্রান্তের চতুষ্পার্শ্বস্থ বায়ুকণাগুলি আবেশের দরুন বিপরীত আধান কর্তৃক আহিত হয়। বায়ুকণাগুলি ও তীক্ষ্ণাংশ প্রান্তের আধান বিপরীত জাতীয় বলে তাদের ভিতর আকর্ষণ ক্রিয়া করে এবং বায়ুকণাগুলি তীক্ষ্ণাংশ প্রান্তের উপর গিয়ে পড়ে। এতে বায়ুকণাগুলি ক্ষণকালের জন্য নিশ্চিহ্ন হয়। বায়ুকণাগুলি নিশ্চিহ্ন হবার পর পরিবাহীর সংস্পর্শের জন্য পরিবাহীর সমতড়িৎ পায় এবং বিকর্ষিত হয়ে পরিবাহী থেকে দূরে সরে যায়। তখন পরিপার্শ্ব হতে নতুন বায়ু ঐ স্থান অধিকার করে এবং সমগ্র প্রক্রিয়ায় পুনরাবৃত্তি ঘটে। এভাবে পরিবাহীর তীক্ষ্ণাংশ প্রান্ত ধীরে ধীরে তড়িৎ হারায়। একে সূচিমুখের তড়িৎমোক্ষণ ক্রিয়া বলা হয়। সুতরাং, কোনো আহিত পরিবাহীর আধান ধরে রাখতে হলে পরিবাহীর আকার যথাসম্ভব গোল ও মসৃণ করতে হবে।

নিম্নবর্ণিত কয়েকটি পরীক্ষা দ্বারা তীক্ষ্ণাংশ পরিবাহীর এই ক্রিয়া প্রদর্শন করানো যেতে পারে।

(ii) সূচিমুখের সেচন ক্রিয়া (Spraying action of points): A একটি সূচিমুখ পরিবাহী। পরিবাহীর সূচিমুখের সম্মুখে একটি মোমবাতির শিখা আছে। পরিবাহী নিশ্চিহ্ন হলে, শিখা খাড়া থাকবে। কিন্তু পরিবাহীকে তড়িৎযন্ত্র কর্তৃক তীব্র তড়িতে আহিত করলে শিখাকে হেলে পড়তে দেখা যাবে (1.12 নং চিত্র)। এর কারণ, সূচিমুখ হতে তড়িৎমোক্ষণ হয় এবং চতুষ্পার্শ্বস্থ বায়ুকণাগুলি সূচিমুখের ওপর পড়ে সমজাতীয় তড়িৎ কর্তৃক আহিত হয় ও সূচিমুখের তড়িৎ দ্বারা বিকর্ষিত হয়ে প্রবাহের সৃষ্টি করে। কাছাকাছি

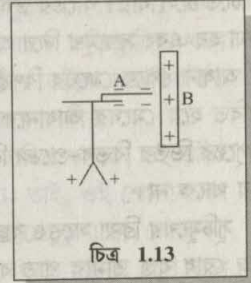


চিত্র 1.12

নিম্নোক্ত বায়ুকণাগুলিও তখন ঐ স্রোতের মুখে পড়ে প্রবাহের সঙ্গে যুক্ত হয় এবং প্রবল বায়ু প্রবাহের সৃষ্টি করে। মোমবাতির শিখা এই বায়ু প্রবাহের ধাক্কায় হেলে পড়ে। এই ধরনের প্রবাহকে তড়িৎবাতা (electric wind) বলে। সূচিমুখের এই ক্রিয়াকে অনেক সময় সেন্সন ক্রিয়া (sensing action) বলা হয়।

(iii) সংগ্রাহকরূপে সূচিমুখের ক্রিয়া (Collecting action of points) : পরিবাহীর সূচিমুখ দিয়ে যেমন তড়িৎমোক্ষণ হয় এবং তার ফলে পরিবাহী ক্রমশ তড়িতাধান নষ্ট করে তেমনি পরিবাহীর সূচিমুখ তড়িতাধান সংগ্রহও করতে পারে। সংগ্রাহকরূপে সূচিমুখের ক্রিয়া নীচের বিবরণ হতে বোঝা যাবে।

একটি স্বর্ণপত্র তড়িৎবীক্ষণের চাকতির উপর সূচিমুখযুক্ত একটি তার (A) রাখা হল এবং একটি ধনাত্মক তড়িৎগ্রস্ত দণ্ড (B) ধীরে ধীরে সূচিমুখের কাছে আনা হল। দেখা যাবে যে স্বর্ণপত্রদ্বয় বিস্তারিত হচ্ছে। দণ্ড (B) সরিয়ে নিলেও পত্রদ্বয়ের বিস্তারণ থেকে যাবে। তড়িৎবীক্ষণকে পরীক্ষা করলে দেখা যাবে যে এতে ধনাত্মক তড়িৎ আছে; আর B দণ্ডকে পরীক্ষা করলে দেখা যাবে যে দণ্ডে কোনো তড়িৎ নেই। অর্থাৎ, সূচিমুখযুক্ত তার দণ্ড B হতে ধনাত্মক তড়িৎ সংগ্রহ করে স্বর্ণপত্রদ্বয়কে দিয়ে দিয়েছে। 1.13 নং চিত্র হতে এই ঘটনার ব্যাখ্যা মিলবে।



ধনাত্মক তড়িতাহিত B দণ্ডের আবেশ-প্রভাবে সূচিমুখ ঋণাত্মক তড়িৎ এবং পত্রদ্বয় ধনাত্মক তড়িৎ পাবে। যখন দণ্ড সূচিমুখের খুব কাছে আসবে তখন আবেশ ক্রিয়া সর্বাধিক হবে এবং স্বর্ণপত্রদ্বয়ের বিস্তারণও সর্বাধিক হবে। এইবার সূচিমুখের ক্ষরণ ক্রিয়া শুরু হয়ে বায়ুকণাগুলিকে ঋণাত্মক তড়িতে আহত করবে এবং তারা B দণ্ডের ধনাত্মক তড়িৎ দ্বারা আকৃষ্ট হয়ে দণ্ডের ওপর পড়বে এবং দণ্ডের তড়িৎ-কে প্রশমিত করবে। তড়িৎমোক্ষণ হয়ে সূচিমুখযুক্ত তারও তড়িৎবিহীন হবে। মোট ফলাফল দাঁড়াবে এইরূপ যেন B-দণ্ড ধনাত্মক তড়িৎ হারাবে এবং সূচিমুখ যেন দণ্ড হতে তড়িৎকে শোষণ করে তড়িৎবীক্ষণকে দান করবে।

1.17. বজ্র (Lightning) :

নানাকারণে মেঘে তড়িতের সঞ্চার হতে পারে। কখনও কখনও এরকমও হয় যে, একখন্ড মেঘের উপরিভাগে এবং নিম্নভাগে একইসাথে বিপরীত তড়িতের সঞ্চার হল। একই ধরনের তড়িতাহিত মেঘের এক অংশ অন্য অংশ হতে পৃথক হয়েও যেতে পারে। এইভাবে যখন বৃহৎ একখন্ড মেঘ প্রচুর তড়িতাধান কর্তৃক আহিত হয় তখন সে ভূপৃষ্ঠে বিপরীত আধান আবিষ্ট করে। ফলে, মেঘ এবং ভূপৃষ্ঠের ভিতর একটি বিভব প্রভেদের সৃষ্টি হয় এবং তাদের ভিতরকার বায়ুস্তরের উপর চাপ পড়ে। বিভব প্রভেদ যত বৃদ্ধি পায়, বায়ুস্তরের উপর চাপও তত বাড়ে। অবশেষে পরিবেশ উপযুক্ত হলে, মেঘ এবং ভূপৃষ্ঠের ভিতর বিশাল তড়িৎ মোক্ষণ (electric discharge) হতে পারে। এই ধরনের তড়িৎমোক্ষণকে বজ্র বলা হয়। যে পথে তড়িৎ মোক্ষণ হয়, সাধারণত উজ্জ্বল বিদ্যুৎস্ফুরণে (electric flash) সেই পথ আলোকিত হয়ে উঠে। বজ্রপাতের সময় যে তীব্র শব্দের উৎপত্তি হয়, তাকে বজ্রনাদ বলা হয়।

যখন তড়িতাহিত মেঘ এবং ভূপৃষ্ঠের মধ্যে বজ্রপাত হয় তখন, বজ্র মেঘের তড়িৎসম্বন্ধীয় সর্বাপেক্ষা নিকটবর্তী বিন্দুর ভিতর দিয়ে ভূপৃষ্ঠকে আঘাত করে। এই কারণে সুউচ্চ অট্টালিকা বা দীর্ঘ বৃক্ষ (যেমন, তালগাছ) প্রভৃতির উপর বেশি বজ্রপাত হতে দেখা যায়।

1.18. বজ্রবহ (Lightning conductor) :

বাড়ির ওপর বাজ পড়লে সাধারণত বাড়ির কোনো সুউচ্চ অংশে বজ্রপাত হয় এবং যে-পথে রোধ সর্বাপেক্ষা কম সেইপথে তীব্র তড়িৎপ্রবাহ ঘটে। এতে প্রচুর উত্তাপের সৃষ্টি হয়। এই তাপ বাড়ির গাঁথনির ভিতর যে জলীয় পদার্থ থাকে তাকে স্টিমে পরিণত করে। স্টিমের উচ্চ-চাপে বাড়িতে ফাটল ধরে

যায়। বজ্রপাতের ফলে অটালিকা বা উঁচু বাড়ি যাতে এইভাবে ক্ষতিগ্রস্ত না হয় তার জন্য বজ্রবহ ব্যবহার করা হয়। একটি পুরু তামার পাত (R) বাড়ির গা বেয়ে আটকানো থাকে। এই পাতের উপরপ্রান্ত অটালিকার উচ্চতম অংশ হতে আরও খানিকটা উঁচুতে রাখা হয় এবং নিম্নপ্রান্ত মাটিতে গভীরভাবে পুঁতে রাখা হয় (1.14 নং চিত্র)। পাতের উপরপ্রান্তে কয়েকটি সূচিমুখ (pointed ends) থাকে। বজ্রবহকে বজ্রনিবারক (lightning arrester)-ও বলা হয়।

কার্যপ্রণালী : যখন কোনো তড়িৎপ্রবাহ মেঘ গৃহের উপরে আসে তখন তা R পাতের সূচিমুখে বিপরীত আধান আবিষ্ট করে এবং অপরপ্রান্তে সমতড়িৎ আবিষ্ট করে; কিন্তু এই প্রান্ত মাটিতে পৌঁতা থাকে বলে এই আবিষ্ট সমতড়িৎ পাত বরাবর মাটিতে চলে যায়। পাতের উপরপ্রান্ত সূচিমুখ বলে এই স্থানে আধান বেশি পরিমাণে জমা হয় এবং সূক্ষ্মমুখ দিয়ে আস্তে আস্তে আধান মোক্ষণ (leak) হয়। বায়ুকণাগুলি এই আধান পেয়ে মেঘের বিপরীত আধান কর্তৃক আকর্ষিত হয় এবং মেঘের দিকে ধাবিত হয়ে মেঘের আধানকে অনেকাংশে প্রশমিত করে। সুতরাং মেঘের এবং ভূপৃষ্ঠের ভিতর বিভব-প্রভেদ বিপজ্জনকভাবে বৃদ্ধি পেতে পারে না ও বজ্রপাতেরও ভয় থাকে না।

সূচিমুখের ক্রিয়া সত্ত্বেও বজ্রপাত হলে, তড়িৎ অটালিকার ভিতর দিয়ে না গিয়ে নিম্ন রোধ যুক্ত তামার পাত বরাবর মাটিতে চলে যায়। এতে অটালিকার কোনো ক্ষতি হয় না।

ভাল বজ্রনিবারকের নিম্নলিখিত গুণগুলি থাকা প্রয়োজন :—

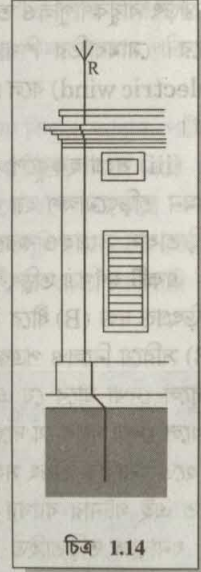
- (1) তড়িৎমোক্ষণের ফলে যে-তাপ সৃষ্টি হয় তাতে তামার পাত গলবে না।
- (2) পাতের উপরপ্রান্ত তীক্ষ্ণগ্র বা কতকগুলি সূচিমুখের সমষ্টি করা প্রয়োজন।
- (3) সূচিমুখ হতে মাটি পর্যন্ত পাতটি একটানা হওয়া প্রয়োজন—মাঝখানে কাটা থাকলে চলবে না। মাটিতে পাতটিকে গভীরভাবে পুঁতে রাখা দরকার।

ইম্পাতের ফ্রেম নির্মিত বাড়ি, বজ্রসহ-যুক্ত গৃহ, মাটি সংলগ্ন ধাতব ছাদযুক্ত গাড়ি অথবা চালাঘর ইত্যাদি বজ্র-বিদ্যুতের সময় নিরাপদ আশ্রয়স্থল। তারের জাল, বিচ্ছিন্ন উঁচু গাছ, দেওয়াল, টেলিগ্রাফ বা টেলিফোন পোস্ট ইত্যাদি এই সময় খুবই বিপজ্জনক।

একথা মনে রাখতে হবে যে, বজ্রপাত ও বজ্রনাদ একই সজো হয়। কিন্তু শব্দের গতিবেগ আলোর গতিবেগ অপেক্ষা অনেক কম বলে বাজ পড়লে শব্দ আসতে বেশ খানিকটা সময় লাগে। এই কারণে বজ্রনাদ শুনলে বজ্রাহত হবার ভয় থাকে না, এইরূপ একটি প্রবাদ বাক্য প্রচলিত আছে। কারণ, বজ্রপাতে মৃত্যু ঘটলে তা সজো সজো হয়; বজ্রনাদ শোনার আর সময় থাকে না।

এই পরিচ্ছেদের বিষয়বস্তু সম্পর্কে কয়েকটি প্রশ্ন (Some typical problems of this chapter)

1. বৈদ্যুতিক তারগুলি সরাসরি ধাতব পোস্টে না লাগিয়ে পোর্সিলেন বাটির মাধ্যমে লাগানো হয় কেন ?
- টেলিগ্রাফ, টেলিফোনের তার বা বিদ্যুৎ সরবরাহ ব্যবস্থার তার খাটাবার সময় ধাতব পোস্টের সাথে তার সরাসরি সংযুক্ত করা হয় না; পোর্সিলেন বাটির মাধ্যমে খাটানো হয়। পোস্ট ধাতব পদার্থের হওয়ায় এবং প্রায় সকল ধাতুই ভালো তড়িৎ পরিবাহী হওয়ায়, পোস্টের সাথে তার সরাসরি সংযুক্ত থাকলে, পোস্ট দিয়ে সর্বদা মাটিতে তড়িৎক্ষরণ হবে। এই পোস্ট যদি কোনো লোক অসতর্ক মুহূর্তে স্পর্শ করে তবে তৎক্ষণাৎ সে তড়িৎস্পৃষ্ট হবে। পোর্সিলেন তড়িৎ অন্তরক।



পোসিলেন বাটির মাধ্যমে তার খাটালে পোস্ট দিয়ে তড়িৎক্ষরণ হবে না এবং ঐরূপ কোনো বিপদের আশঙ্কা থাকবে না।

2. স্বর্ণপত্র তড়িৎবীক্ষণের মধ্যে কিছু জলশোষক বস্তু রাখা থাকে কেন?

- শুল্ক বায়ু তড়িৎ অন্তরক। বায়ুতে জলীয় বাষ্প থাকলে, ঐ বায়ু তড়িৎের পরিবাহী হয়ে পড়ে। ঐরকম ভিজে বায়ুর মধ্যে কোনো তড়িৎগ্রস্ত বস্তু রাখলে ঐ বস্তু তড়িৎ ধরে রাখতে পারবে না; বস্তু হতে তড়িৎ ভিজে বায়ুর মধ্য দিয়ে ক্ষরিত হবে এবং বস্তু দ্রুত তড়িৎবিহীন হয়ে পড়বে। স্বর্ণপত্র তড়িৎবীক্ষণ যন্ত্রের অভ্যন্তরস্থ বায়ু যাতে ভিজে না থাকে, সেইজন্য আধারের ভিতর কিছু জলশোষক বস্তু (ক্যালশিয়াম ক্লোরাইড) রাখা হয়। বায়ু ভিজে থাকলে স্বর্ণপত্র তড়িৎ ধরে রাখতে পারবে না এবং ঐরূপ যন্ত্র দিয়ে কোনো পরীক্ষা-কার্য করা যাবে না।

3. দুটি একই রকম শোলাবলকে দুটি পৃথক ধাতবদণ্ড হতে রেশম সুতোর সাহায্যে এবং তামার তারের সাহায্যে ঝুলানো হল। শোলাবল দুটিকে সমান পরিমাণে তড়ি়তাহিত করা হল। কিছুক্ষণ পরে দেখা গেল যে রেশম সুতোয় ঝুলানো শোলাবলের তড়িৎ অপরিবর্তিত আছে কিন্তু অপর শোলাবলে কোনো তড়িৎ নেই। এরূপ হবার কারণ কী?

- রেশম সুতো তড়িৎের অপরিবাহী। রেশম সুতোয় ঝুলানো শোলাবলকে তড়ি়তাহিত করলে, ওই তড়িৎ রেশম সুতোর ভিতর দিয়ে ধাতবদণ্ডের মাধ্যমে মাটিতে চলে যেতে পারে না; তাই, ওই শোলাবলের তড়িৎ বলেই আবদ্ধ থাকবে। কিন্তু তামা তড়িৎের সুপরিবাহী। তামার তারে ঝুলানো শোলাবল তড়ি়তাহিত করলে, ওই তড়িৎ দ্রুত তামার তারের ভিতর দিয়ে ধাতবদণ্ডের মাধ্যমে মাটিতে চলে যাবে এবং শোলাবল তড়িৎবিহীন হবে।

4. দুটি সমভর অবিকল একই রকম ধাতব গোলক নেওয়া হল। একটিকে Q পরিমাণ ধনাত্মক তড়িৎ দ্বারা এবং অন্যটিকে সমপরিমাণ ঋণাত্মক তড়িৎ দ্বারা আহিত করা হল। তড়ি়তাহিত করার পর গোলক দুটির ভরের কোনো পরিবর্তন হবে কি?

- ধনাত্মক তড়ি়তে আহিত করার অর্থ গোলক হতে কিছু ইলেকট্রন অপসারিত করা এবং ঋণাত্মক তড়ি়তে আহিত করার অর্থ গোলকে অতিরিক্ত ইলেকট্রন যোগ করা। সুতরাং প্রথম গোলক হতে কিছু পরিমাণ ইলেকট্রন অপসারণ করা হল এবং দ্বিতীয় গোলকে সমপরিমাণ ইলেকট্রন যোগ করা হল। যেহেতু প্রতিটি ইলেকট্রনের নির্দিষ্ট ভর আছে ($9.1 \times 10^{-31} \text{ kg}$) সেইহেতু, ঋণাত্মক তড়ি়তাহিত গোলকের ভর ধনাত্মক তড়ি়তাহিত গোলকের ভর অপেক্ষা সামান্য কিছু বেশি হবে। তবে এই পাথ্য ক্য এত কম যে সাধারণভাবে এটা বোঝা যায় না।

5. একটি আহিত দণ্ড ক্ষুদ্র কাগজের টুকরোকে আকর্ষণ করে। কিন্তু দণ্ডের গায়ে লাগার সঙ্গে সঙ্গে টুকরো বিকর্ষিত হয়। কারণ কি?

- দণ্ড তড়ি়তাহিত হলে আকর্ষণীয় ধর্ম পায়। তাই ছোটো, হালকা কাগজের টুকরোকে নিজের দিকে আকর্ষণ করে। কিন্তু কাগজের টুকরো দণ্ডকে স্পর্শ করলে দণ্ডের কিছু তড়িৎ টুকরো পেয়ে যায়। সমতড়িৎ পরস্পরকে বিকর্ষণ করে। এই ধর্মের জন্য কাগজ টুকরো বিকর্ষিত হয়।

6. কোনো পরিবাহী বস্তুকে তড়ি়তাহিত করলে, নানাপ্রকার পরীক্ষার সাহায্যে প্রমাণ করা যায় যে ঐ তড়িৎ বস্তুর বাইরের পৃষ্ঠে অবস্থান করে। এর কারণ কী?

- সমধর্মী আধানের পারস্পরিক বিকর্ষণ বল এর কারণ। ধর, বস্তুকে ঋণাত্মক তড়ি়তে আহিত করা হল। এরূপ অবস্থায় বস্তুতে পূর্বাপেক্ষা বেশি ইলেকট্রন থাকবে। ঐ ইলেকট্রনগুলি পরস্পরকে বিকর্ষণ করে যতটা সম্ভব দূরে ছড়িয়ে পড়ার চেষ্টা করবে। যে-কোনো বস্তুর বাইরের পৃষ্ঠের ক্ষেত্রফল ভিতরের পৃষ্ঠের ক্ষেত্রফল অপেক্ষা বেশি বলে ইলেকট্রনগুলি বিকর্ষিত হয়ে বাইরের পৃষ্ঠে ছড়িয়ে পড়ে। বস্তুকে ধনাত্মক আধানে আহিত করলেও অনুরূপ ঘটনা ঘটবে।

7. একটি ফাঁপা ধাতব গোলকের ভিতর একটি আহিত বস্তু এরূপভাবে রাখা হল যেন বস্তু

গোলককে স্পর্শ না করে। এক্ষেত্রে গোলকের ভিতরের পৃষ্ঠে কোনো আধান থাকবে কি ? এইবার আহিত বস্তুকে সরিয়ে নেওয়া হল। ধাতব গোলকে কোনো আধান থাকবে কি ?

- আহিত বস্তুকে গোলকের ভিতর গোলক স্পর্শ না করে রাখলে তড়িতাবেশ ঘটবে এবং গোলকের ভিতরের পৃষ্ঠে বস্তুর তড়িতের বিপরীত-জাতীয় তড়িৎ এবং বাইরের পৃষ্ঠে সম-জাতীয় তড়িৎ আবিষ্ট হবে। ভিতরের পৃষ্ঠের আবিষ্ট তড়িৎ বন্ধ (bound) বলে ভিতরের পৃষ্ঠেই থাকবে; বাইরের পৃষ্ঠে যাবে না। কাজেই আহিত বস্তুকে গোলকের ভিতর যতক্ষণ রাখা থাকবে গোলকের ভিতরের পৃষ্ঠে ততক্ষণ আধান থাকবে। এখন, গোলকের ভিতর থেকে আহিত বস্তুকে সরিয়ে নিলে, গোলকের ভিতরকার আধান আর বন্ধ থাকবে না। ঐ আধান তখন গোলকের বাইরের পৃষ্ঠে ছড়িয়ে পড়ে সেখানকার বিপরীত আধানকে প্রশমিত করবে এবং গোলক তড়িৎশূন্য হবে।

8. বজ্রপাতের সময় বৃক্ষতলে দাঁড়ানো বিপজ্জনক কেন ? ঐ সময় কি ধরনের আশ্রয়স্থল নিরাপদ ?

- তড়িৎগ্রস্ত মেঘ যে অঞ্চলে থাকে সেই অঞ্চলের কোনো সুউচ্চ বস্তুর ওপর বজ্রপাতের সম্ভাবনা বেশি। গাছের ঠিক ওপরে আকাশে কোনো তড়িৎগ্রস্ত মেঘ এলে, গাছ লম্বা এবং উঁচু বলে, গাছের ওপর প্রান্তে মেঘের তড়িতাধানের বিপরীত আধান আবিষ্ট হয় এবং নীচের প্রান্তে সমজাতীয় তড়িৎ আবিষ্ট হয়। কিন্তু গাছের নীচের প্রান্ত পৃথিবীর সাথে যুক্ত বলে সমজাতীয় আবিষ্ট তড়িৎ মাটিতে চলে যায়। মেঘের এবং গাছের উপরের প্রান্তের দুই বিপরীত আধানের ভিতর বিভব পার্থক্য খুব বৃদ্ধি পেলে, গাছের ভিতর দিয়ে বজ্রপাত হয়। গাছের তলায় কোনো লোক থাকলে সে বজ্রাহত হয়ে প্রাণত্যাগ করে। এই কারণে বজ্রবিদ্যুতের সময় গাছের তলায় দাঁড়ানো মোটেই নিরাপদ নয়।

ঐ সময় ইস্পাতের ফ্রেম নির্মিত বাড়ি, বজ্রনিবারকযুক্ত বাড়ি, মাটির সংলগ্ন ধাতবছাদযুক্ত গাড়ি অথবা চালাঘর ইত্যাদি নিরাপদ আশ্রয়।

9. একটি নিম্নবিভব বস্তু থেকে উচ্চবিভবযুক্ত বস্তুতে তড়িতের স্থানান্তর কি সম্ভব ?

- দুটি বস্তুকে (তড়িতাহিত) তার দিয়ে অথবা অন্য যে-কোনো উপায়ে সংযুক্ত করলে সাধারণভাবে তড়িৎ উচ্চ বিভবযুক্ত বস্তু হতে নিম্নবিভবযুক্ত বস্তু স্থানান্তরিত হয় ঠিক যেমন উঁচু লেভেল হতে জল নীচু লেভেলে প্রবাহিত হয়। সাধারণভাবে উল্টো প্রবাহ দেখা যায় না। কিন্তু নিম্নবিভবযুক্ত বস্তুকে উচ্চবিভবযুক্ত বস্তু দ্বারা সম্পূর্ণরূপে আবৃত করে যদি তাদের ভিতর সংস্পর্শ ঘটানো যায়, তবে তড়িৎ নিম্নবিভবযুক্ত বস্তু হতে উচ্চবিভবযুক্ত বস্তুতে প্রবাহিত হবে। এর কারণ, ঐ অবস্থায় সংস্পর্শ ঘটালে দুটি বস্তু মিলে একটি একক বস্তুতে পরিণত হয়। একক বস্তুর তড়িৎ সর্বদা বস্তুর বাইরের পৃষ্ঠে অবস্থান করে বলে, অভ্যন্তরস্থ নিম্নবিভবযুক্ত বস্তু হতে তড়িৎ বাইরের উচ্চবিভবযুক্ত বস্তুতে চলে আসবে। এইভাবে একটি নিম্নবিভব বস্তু হতে উচ্চবিভব বস্তুতে তড়িতের স্থানান্তর সম্ভব।

10. আহিত পরিবাহীর আধান ধরে রাখতে হলে পরিবাহীর আকার যথাসম্ভব গোল করা দরকার। এর কারণ কী ?

- পরিবাহী গোল না হয়ে যদি অসম আকারের হয় তবে তার তীক্ষ্ণাংশ প্রান্তগুলিতে বেশি পরিমাণ আধান জমা হয় এবং সেখান থেকে ধীরে ধীরে তড়িৎ ক্ষরণ হয়। ফলে, পরিবাহী অল্প সময়ের মধ্যে নিস্তড়িৎ হয়ে পড়ে। কিন্তু পরিবাহীর আকার গোল হলে, ঐ রকম কোনো তীক্ষ্ণাংশ বিন্দু থাকে না এবং তড়িৎ ক্ষরণ হতে পারে না। পরিবাহী তার আধান ধরে রাখতে পারে।

11. একটি দোলকের পিণ্ড ধাতুর তৈরি। ঐ পিণ্ডকে তড়িতাহিত করে কোনো উর্ধ্বমুখী তড়িৎ ক্ষেত্রে আন্দোলিত হতে দিলে, দোলনকাল বৃদ্ধি পাবে না হ্রাস পাবে ? তড়িৎক্ষেত্র নিম্নমুখী হলে কী হবে ?

- উর্ধ্বমুখী তড়িৎক্ষেত্র তড়িৎগ্রস্ত পিণ্ডের উপর উর্ধ্বমুখী বল প্রয়োগ করবে। ফলে পিণ্ডের ওপর

কার্যরত ত্বরণ g অপেক্ষা কম হবে। যেহেতু দোলনকাল কার্যরত ত্বরণের বর্গের ব্যস্তানুপাতিক তাই দোলনকাল বৃদ্ধি পাবে।

তড়ি়ক্ষেত্র নিম্নমুখী হলে স্পর্শত কার্যকর ত্বরণ g অপেক্ষা বেশি হবে। তাই দোলনকাল হ্রাস পাবে।

12. উড়োজাহাজের রবার টায়ার সামান্য পরিমাণে তড়ি় পরিবাহী করা হয়। কেন? মনে রাখতে হবে যে সাধারণ রবার তড়ি়-অন্তরক।

- উড়োজাহাজ যখন মাটি ছেড়ে ওপরে ওঠে (take off) অথবা ওপর থেকে মাটিতে নামে (landing) তখন রবার টায়ারের সঙ্গে মাটির ঘর্ষণের ফলে কিছু তড়ি় উৎপন্ন হতে পারে। রবার সামান্য তড়ি় পরিবাহী করা থাকলে, উৎপন্ন তড়ি় সঙ্গে সঙ্গে মাটিতে চলে যায়। না হলে, ঐ তড়ি় স্ফুলিঙ্গ (spark) সৃষ্টি করে টায়ারকে ক্ষতিগ্রস্ত করতে পারে।

13. তীব্র তড়ি় পরিবাহী পাওয়ার লাইন তারে (high-power line) পাখি বসলে, পাখি শক্ক পায় না কেন?

- তড়ি় পরিবাহী তারে পাখি বসলেও, পাখির দেহ ও পৃথিবীর ভিতর বর্তনী সম্পূর্ণ হয় না; তাই পাখির দেহের ভিতর দিয়ে তড়ি়-প্রবাহ যায় না এবং পাখি শক্ক অনুভব করে না।

14. বৈদ্যুতিক ক্ষেত্রের সঙ্গে মহাকর্ষীয় ক্ষেত্র ভেক্টর পদ্ধতিতে যোগ করে কি মোট ক্ষেত্র পাওয়া যেতে পারে?

- না; বৈদ্যুতিক ক্ষেত্র এবং মহাকর্ষীয় ক্ষেত্র সমপ্রকৃতির নয়। দুটি রাশি সমপ্রকৃতির না হলে, ভেক্টর পদ্ধতিতে তাদের যোগফল নির্ণয় করা যায় না।

15. তড়ি়পর্দা কাকে বলে? এখানে কোন নীতির প্রয়োগ করা হয়?

- তড়ি়পর্দা এমনই একটি ব্যবস্থা যা দিয়ে কোনো স্থানকে তড়ি়তের প্রভাব থেকে মুক্ত রাখা যায়। যেমন, একটি তড়ি়বীক্ষকে তামার তারের জাল দিয়ে তৈরি খাঁচা দিয়ে ঢেকে রাখলে, খাঁচার বাইরের কোনো তড়ি়ক্ষেত্র তড়ি়বীক্ষণের ওপর কোনো প্রভাব বিস্তার করবে না। তড়ি়বীক্ষণের পাতা দুটির কোনো বিস্ফারণ হবে না। এক্ষেত্রে ঐ খাঁচাকে তড়ি়পর্দা বলা হবে। কোনো পরিবাহীকে তড়ি়তাহিত করলে, তড়ি়তাহান সর্বদা পরিবাহীর উপরের পৃষ্ঠে অবস্থান করে — এই নীতিকে এখানে প্রয়োগ করা হয়।

* প্রশ্নাবলি *

→ রচনাধর্মী প্রশ্ন

1. তড়ি়বীক্ষণ কাকে বলে? একটি স্বর্ণপত্র তড়ি়বীক্ষণের বিবরণ ও কার্যপ্রণালী ব্যাখ্যা করো।
2. ঘর্ষণের ফলে সমপরিমাণ বিপরীত ধর্মী তড়ি়তের উৎপন্ন হয়, এটা কীভাবে প্রমাণ করা যায়?
3. ইলেকট্রন কাকে বলে? তড়ি়তাহিতকরণের ইলেকট্রনীয় তত্ত্ব ব্যাখ্যা করো। এই তত্ত্বের দ্বারা ঘর্ষণজাত তড়ি়তের ব্যাখ্যা কীভাবে করা যায়?
4. তড়ি়তাহিতকরণে আধান উৎপন্ন হয় না—পজিটিভ ও নেগেটিভ আধান পৃথক হয়ে পড়ে। ব্যাখ্যা করো।
5. ‘আহিত পরিবাহীর আধান সর্বদা পরিবাহীর ওপরের পৃষ্ঠে অবস্থান করে’—উপযুক্ত পরীক্ষার সাহায্যে উপরিউক্ত বাক্যের ব্যাখ্যা করো।
6. (a) একটি গভীর ধাতুপাত্রকে তড়ি়তাহিত করা হল। একটি আধান-পরীক্ষককে পাত্রের ভিতরের দেওয়ালে স্পর্শ করিয়ে একটি তড়ি়বীক্ষণের সম্মুখে ধরা হল। কি ঘটবে তা কারণ সহ ব্যাখ্যা করো।
(b) উদাহরণসহ প্রমাণ করো যে, কোনো তড়ি়তাহিত ফাঁপা পরিবাহকের বহিঃপৃষ্ঠে আধান অবস্থান করে।
7. কোনো অনির্দিষ্ট আকারের পরিবাহীর ওপর তড়ি়তাহান কীভাবে বন্টিত থাকে? এই বন্টন কীভাবে পরীক্ষার দ্বারা নিরূপণ করা যায়? কোনো পরিবাহীর সূচিমুখের আধান ক্ষরণ ক্রিয়া দেখাবার জন্য একটি পরীক্ষার বর্ণনা দাও।
8. যে পরিবাহী বহুক্ষণ যাবৎ তড়ি়তাহান ধরে রাখবে তার আকার গোল করা হয়—কেন? ‘তীক্ষ্ণ পরিবাহীর ক্রিয়া’ প্রদর্শনের জন্য কয়েকটি পরীক্ষা বর্ণনা করো।
9. সূচিমুখ পরিবাহীর (i) ক্ষরণ ক্রিয়া (ii) সেচন ক্রিয়া এবং (iii) সংগ্রাহক ক্রিয়া বলতে কী বোঝ? পরীক্ষার সাহায্যে ব্যাখ্যা করো।

10. বজ্রপাত কখন হয়? বজ্রপাত হতে অটলিকা কীরূপে রক্ষা করা যায়? বজ্রবিদ্যুতের সময় কি খোলা জায়গাতে থাকা নিরাপদ? ঐ সময় কী ধরনের আশ্রয়স্থল নিরাপদ ও কী ধরনের আশ্রয়স্থল বিপজ্জনক বলে মনে করো?

→ সংক্ষিপ্ত উত্তরের প্রশ্ন

1. স্থির তড়িৎ কী? তড়িৎতাহিতকরণ কাকে বলে?
2. “কোনো বস্তু তড়িৎপ্রবাহ কিনা বোঝার জন্য আকর্ষণ অপেক্ষা বিকর্ষণ অধিকতর নির্ভরযোগ্য” — ব্যাখ্যা করো।
3. নিম্নলিখিত প্রশ্নগুলির উত্তর দাও : (ক) যেদিন আবহাওয়া আর্দ্র থাকে সেদিন স্থির তড়িৎ বিজ্ঞানের পরীক্ষাকার্য সম্ভাব্যজনক হয় না কেন?
(খ) পেট্রলবাহী ট্রাকে একটি শিকল মাটি পর্যন্ত ঝুলিয়ে রাখা হয় কেন?
(গ) পরিবাহী ও অন্তরকের ভিতর পার্থক্য কী?
4. পদার্থের ইলেকট্রনীয় তত্ত্ব অনুসারে দুই প্রকার তড়িৎের ব্যাখ্যা কীরূপ করবে?
5. একটি ধাতবদণ্ডকে হাতে ধরে রাখলে ঘর্ষণ দ্বারা তড়িৎপ্রবাহ করা যায় না কেন? ঐ ধাতবদণ্ডকে তড়িৎতাহিত করার জন্য তুমি কী করবে?
6. কী বৈশিষ্ট্যের জন্য কোনো বস্তু অন্তরক হয়?
7. একটি অন্তরিত আসনের ওপর দাঁড়িয়ে এক ব্যক্তি একটি অন্তরিত কিন্তু তড়িৎতাহিত পরিবাহীকে স্পর্শ করল। পরিবাহীটি কি সম্পূর্ণরূপে তড়িৎবিহীন হবে?
8. একটি প্রোটনের আধান $+1.6 \times 10^{-19}$ কুলম্ব এবং একটি ইলেকট্রনের আধান -1.6×10^{-19} কুলম্ব। এর অর্থ কি এই যে ইলেকট্রনের আধান প্রোটনের আধান অপেক্ষা $[+1.6 - (-1.6)] \times 10^{-19} = 3.2 \times 10^{-19}$ কুলম্ব কম?
9. একটি অন্তরক পদার্থে ইলেকট্রন সংখ্যা একটি পরিবাহী পদার্থের ইলেকট্রন সংখ্যার সমপর্যায়ের। তাহলে অন্তরক এবং পরিবাহীর ভিতর মূল পার্থক্য কী?
- 10 (a). তড়িৎআধানের কোয়ান্টায়ন বলতে কী বোঝ?
(b). তড়িৎআধানের সংরক্ষণ সূত্র বিবৃত ও ব্যাখ্যা করো।
11. মেরুবর্তী ও অমেরুবর্তিতা অণু কাকে বলে? পরাবিদ্যুতের মেরুবর্তিতা বলতে কী বোঝ?
12. একটি নিরোট ধাতব গোলক কি সমব্যাসের ফাঁপা গোলক অপেক্ষা বেশি তড়িৎআধান ধরে রাখবে? প্রতিক্ষেপে তড়িৎআধান কোথায় অবস্থান করবে ব্যাখ্যা করো।
13. অসম আকৃতির একটি ফাঁপা বক্সর গায়ে একটি ছিদ্র আছে। বক্সকে তড়িৎতাহিত করে একটি অন্তরক আসনের ওপর বসানো হল। একটি স্বর্ণপত্র তড়িৎবীক্ষণ ও একটি আধান পরীক্ষকের সাহায্যে তুমি বক্সটির আধান বর্ধন পরীক্ষা করছ। তড়িৎবীক্ষণের বিস্ফারণের কি পরিবর্তন হবে যখন আধান-পরীক্ষক নিম্নলিখিত স্থান হতে আধান সংগ্রহ করবে :- (ক) তলের চ্যাপ্টা অংশ হতে। (খ) তলের তীক্ষ্ণ অংশ হতে। (গ) বক্সর অভ্যন্তর হতে।
14. বজ্র নিবারকের কার্যনীতি কী?

→ অতি-সংক্ষিপ্ত উত্তরের প্রশ্ন

1. আধানের কোয়ান্টায়ন কী?
2. কাচদণ্ডকে সিল্ক দ্বারা এবং এবোনাইট দণ্ডকে পশম দিয়ে ঘষলে প্রত্যেকটিতে কীরকম তড়িৎ থাকবে?
3. কি বৈশিষ্ট্যের জন্য কোনো বস্তু তড়িৎের পরিবাহী হয়?
4. দুটি তড়িৎতাহিত বস্তু পরস্পরকে বিকর্ষণ করলে, তাদের কি রকম তড়িৎআধান থাকা সম্ভব?
5. একটি চোঙাকৃতি পাত্র তড়িৎতাহিত করা হল। পাত্রের ভিতরে এবং বাইরে কিরকম আধান থাকবে?
6. আধানের তলমাত্রিক ঘনত্ব কাকে বলে?
7. একই রকমের আধান যুক্ত দুটি পরিবাহী কি পরস্পরের দ্বারা আকর্ষিত হতে পারে?
8. একটি পরিবাহী এবং একটি অন্তরক পদার্থের নাম কর।

→ বহুমুখী পছন্দের প্রশ্ন [Multiple choice type (M.C.Q.)]

- (A) নির্ভুল উত্তরটি/চিহ্নিত করো :

- [i] কোনো আধানযুক্ত পরিবাহীকে সুতো দিয়ে ঝোলানো অন্য একটি আধানহীন পরিবাহী গোলকের খুব কাছে আনা হল। ঝোলানো অন্য একটি আধানহীন পরিবাহী গোলকের খুব কাছে আনা হল। ঝোলানো পরিবাহী গোলকটি
- (A) আকর্ষিত হয়ে আধানযুক্ত পরিবাহীর গায়ে লেগে থাকবে,

- (B) আকর্ষিত বা বিকর্ষিত হবে না,
 (C) প্রথমে আকর্ষিত হবে এবং আধানযুক্ত পরিবাহীকে স্পর্শ করেই বিকর্ষিত হবে,
 (D) বিকর্ষিত হবে।

[ii] কোনো পরিবাহী বস্তু ঋণাত্মক তড়ি়তে আহিত হয় যখন,

- (A) বস্তুটি ইলেকট্রন বর্জন করে (B) বস্তুটি ইলেকট্রন গ্রহণ করে
 (C) বস্তুটি প্রোটন বর্জন করে (D) বস্তুটি নিউট্রন গ্রহণ করে।

[iii] এবোনাইট দণ্ডকে পশম দিয়ে ঘষলে দণ্ডের আধান হবে

- (A) ধনাত্মক (B) ঋণাত্মক (C) শূন্য (D) এক অর্ধে ধনাত্মক এবং অপর অর্ধে ঋণাত্মক।

[iv] একটি গভীর ধাতবপাত্রকে তীব্র তড়ি়তাহিত করা হল। তড়ি়তাহানের অবস্থান হবে

- (A) পাত্রের ভিতরে (B) পাত্রের বাইরে (C) কিছু ভিতরে এবং কিছু বাইরে।

[v] ঘর্ষণের দ্বারা একটি বস্তুকে তড়ি়তাহিত করা হলে বস্তুর ওজন

- (A) পরিবর্তিত হবে না (B) সামান্য বৃদ্ধি পাবে
 (C) সামান্য হ্রাস পাবে (D) সামান্য বৃদ্ধি পেতে পারে আবার হ্রাস পেতে পারে।

[vi] বজ্রবিদ্যুতের সময় কোনটি নিরাপদ আশ্রয় স্থল ?

- (A) বিচ্ছিন্ন উচ্চ গাছের তলা (B) ইস্পাতের ফ্রেম নির্মিত বাড়ি
 (C) টেলিগ্রাফ পোস্ট (D) সুউচ্চ দেওয়াল।

(B) শূন্যস্থান পূরণ করো (Fill up the gaps) :

[i] বেকলাইট একটি উত্তম _____ বস্তু।

[ii] _____ অপেক্ষা _____ তড়ি়তাহিত করণের প্রকৃষ্ট প্রমাণ।

[iii] স্বর্ণপত্র তড়ি়ৎবীক্ষণের অভ্যন্তরস্থ বায়ু শূন্য রাখার জন্য ভিতরে কিছু _____ দ্রব্য রাখা হয়।

[iv] আহিত পরিবাহীর আধান সর্বদা পরিবাহীর _____ পৃষ্ঠে অবস্থান করে।

[v] তড়ি়ৎ সংক্রান্ত সুবেদী যন্ত্রপাতিতে বহিরাগত ও অকস্মাৎ উৎপন্ন তড়ি়তের প্রভাব থেকে মুক্ত রাখতে _____ ব্যবহার করা হয়।

গাণিতিক প্রশ্ন

- 1 cm ব্যাসার্ধের একটি গোলাকার ফাঁপা পরিবাহীতে 6.28 একক তড়ি়তাহান দেওয়া হল। পরিবাহীর বাইরের এবং ভিতরের পৃষ্ঠের আধানের তলমাত্রিক ঘনত্ব নির্ণয় করো। [Ans. 0.5 unit / cm²; 0]
- 25 cm ব্যাসার্ধের একটি গোলককে কত পরিমাণ তড়ি়তাহান দিলে তার আধানের তলমাত্রিক ঘনত্ব $\frac{5}{\pi}$ হবে? [Ans. 12500 unit]
- 5 এবং 7 cm ব্যাসবিশিষ্ট দুটি গোলককে যথাক্রমে 22 এবং 35 একক তড়ি়তাহান দেওয়া হল। গোলক দুটির তলমাত্রিক ঘনত্বের তুলনা করো। [Ans. 154 : 125]

□ M.C.Q. প্রশ্নের উত্তর □

- (A) (i) C (ii) B (iii) B (iv) B (v) D (vi) B

(B) [i] অপরিবাহী, [ii] আকর্ষণ, বিকর্ষণ, [iii] জলশোষক, [iv] উপরের, [v] তড়ি়ৎপর্দা।



তড়িৎ ক্ষেত্র ও তড়িৎ বিভব

[ELECTRIC FIELD AND ELECTRIC POTENTIAL]

2.1.

দুটি তড়িতাধানের মধ্যে পারস্পরিক আকর্ষণ ও বিকর্ষণ বল
কুলম্বের সূত্র (Force of attraction and repulsion
between two electric charges : Coulomb's law) :

সমতড়িৎ পরস্পরকে বিকর্ষণ করে ও বিষম তড়িৎ পরস্পরকে আকর্ষণ করে, এটা আমরা জানি। তড়িৎের এই আকর্ষণ বা বিকর্ষণ বলের পরিমাণ সর্বপ্রথম নির্ণয় করেন বিজ্ঞানী চার্লস অগাস্টিন ডি. কুলম্ব 1785 খ্রিস্টাব্দে। এই সম্পর্কিত সূত্রকে বলা হয় কুলম্ব সূত্র।

কুলম্ব সূত্র : দুটি বিন্দু তড়িতাধানের মধ্যে আকর্ষণ বা বিকর্ষণ বল আধান দুটির গুণফলের সমানুপাতিক এবং তাদের দূরত্বের বর্গের ব্যস্তানুপাতিক। মনে কর, r দূরত্বে q_1 এবং q_2 দুটি বিন্দু তড়িতাধান রাখা আছে (2.1 নং চিত্র)। যদি তাদের পারস্পরিক আকর্ষণ বা বিকর্ষণ বল F ধরা যায় তবে, কুলম্ব সূত্র হতে আমরা লিখতে পারি,

$$q_1 \quad r \quad q_2$$

চিত্র 2.1

$$F \propto q_1 \cdot q_2 \text{ এবং } F \propto \frac{1}{r^2} \text{ অর্থাৎ, } F \propto \frac{q_1 \cdot q_2}{r^2} \text{ অথবা, } F = k \frac{q_1 \cdot q_2}{r^2}$$

এখানে, k হল আনুপাতিক ধ্রুবক (constant of proportionality)। k ধ্রুবকের মান মাধ্যমের উপর এবং ব্যবহৃত এককের পদ্ধতির উপর নির্ভর করে। k -কে বলা হয় মাধ্যমের ভেদনযোগ্যতা (permittivity) অথবা পরাবৈদ্যুতিক ধ্রুবক (dielectric constant) অথবা আপেক্ষিক আবেশিক ধারকত্ব (specific inductive capacity)।

সি. জি. এস পদ্ধতি অনুযায়ী বায়ুমাধ্যমে (প্রকৃতপক্ষে শূন্য মাধ্যমে) $k = 1$ ধরা হয়। অতএব, বায়ুমাধ্যমে দুটি বিন্দু তড়িতাধান q_1 এবং q_2 পরস্পর হতে r দূরে থাকলে, তাদের ভিতর আকর্ষণ বা বিকর্ষণ

$$\text{বল, } F = \frac{q_1 \cdot q_2}{r^2}.$$

$$\therefore \frac{\text{বায়ুতে বিকর্ষণ বল}}{\text{মাধ্যমে " "}} = \frac{q_1 q_2}{r^2} \times \frac{k \cdot r^2}{q_1 q_2} = k$$

এস. আই. পদ্ধতিতে কুলম্ব সূত্র : S.I. পদ্ধতিতে ধ্রুবক $k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}$ ধরা হয়। অতএব,

$$F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{q_1 q_2}{r^2}; \text{ এখানে } \epsilon_0 = \text{শূন্য বা বায়ু মাধ্যমের ভেদনযোগ্যতা। এই পদ্ধতি অনুযায়ী } F \text{ নিউটনে (N), } r \text{ মিটারে (m) এবং } q_1 \text{ ও } q_2 \text{ কুলম্ব এককে মাপা হয় বলে শূন্য মাধ্যমের ভেদন যোগ্যতা}$$

ϵ_0 -এর মান দাঁড়ায় $= 8.85 \times 10^{-12} \text{ C}^2/\text{N-m}^2$ । লক্ষ কর যে সি. জি. এস. পদ্ধতিতে শূন্য মাধ্যমের ভেদনযোগ্যতা 1 কিন্তু এস. আই. পদ্ধতিতে 1 নয়।

বিন্দু তড়িতাধান দুটি যদি শূন্য মাধ্যমের পরিবর্তে কোনো বিশেষ মাধ্যমে অবস্থিত থাকে তবে ϵ_0 -এর পরিবর্তে ϵ ধরা হয়। এখানে $\epsilon = \epsilon_0$ মাধ্যমের পরম ভেদন-যোগ্যতা। শূন্য মাধ্যমের ক্ষেত্রে $\epsilon = \epsilon_0$ । অন্য কোনো মাধ্যমের বেলায় ϵ/ϵ_0 -এই অনুপাতকে ঐ মাধ্যমের আপেক্ষিক ভেদন যোগ্যতা অথবা পরাবৈদ্যুতিক ধ্রুবক (dielectric constant) বলা হয়। একে সাধারণত K অথবা ϵ_r দ্বারা সূচিত

মাধ্যমের পরম ভেদনযোগ্যতা
করা হয়। সুতরাং ϵ_r (অথবা K) $= \frac{\epsilon}{\epsilon_0} = \frac{\text{মাধ্যমের পরম ভেদনযোগ্যতা}}{\text{শূন্য মাধ্যমের " "}}$

$$\text{ঐ মাধ্যমে তখন কুলম্ব সূত্র হবে } F = \frac{1}{4\pi\epsilon} \cdot \frac{q_1 q_2}{r^2} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0\epsilon_r} \cdot \frac{q_1 q_2}{r^2}$$

● ভেক্টরের সাহায্যে কুলম্ব সূত্র :

কুলম্ব সূত্র : $F = k \frac{q_1 q_2}{r^2}$; যেহেতু বল (F) এবং দূরত্ব (r) উভয়ই ভেক্টর, তাই ভেক্টর অংকপাতনে $\vec{F} = k \frac{q_1 q_2}{r^2} \cdot \hat{r}$ যেখানে q_1 থেকে q_2 অভিমুখে \hat{r} একক ভেক্টর।

2.2. আধানের স্থির-তড়িৎ একক (Electrostatic unit of charge):

সি. জি. এস. পদ্ধতি : $F = \frac{q_1 \cdot q_2}{r^2}$ সমীকরণ হতে আমরা আধানের স্থির-তড়িৎ একক গঠন করতে পারি। যদি $F = 1 \text{ dyne}$, $r = 1 \text{ cm}$ এবং $q_1 = q_2 = q$ (ধর) হয়, তবে $q^2 = 1$ অথবা $q = \pm 1$ ।

সংজ্ঞা : যদি এক জাতীয় সমপরিমাণ আধানযুক্ত দুটি বিন্দু বায়ুমধ্যে 1 cm দূরে অবস্থিত থেকে পরস্পরের প্রতি 1 dyne বিকর্ষণ বল প্রয়োগ করে তবে প্রত্যেক বিন্দু আধানকে একক আধান (unit charge) বলা হয়।

এই একক-কে সি. জি. এস. স্থির-তড়িৎ একক (cgs electrostatic unit) অথবা সংক্ষেপে e.s.u বলা হয়। একে মার্কিন বিজ্ঞানীরা স্ট্যাটকুলম্ব (statcoulomb) বলেন।

এস. আই. পদ্ধতি :

এস্. আই. পদ্ধতি অনুযায়ী শূন্য মাধ্যমে কুলম্ব সূত্র লেখা হয় $F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{q_1 q_2}{r^2}$ ।

যদি $q_1 = q_2 = 1$ এবং $r = 1 \text{ m}$ হয়, তবে $F = \frac{1 \times 1 \times 9 \times 10^9}{(1)^2} \text{ N} = 9 \times 10^9 \text{ N}$

$$\left[\frac{1}{4\pi\epsilon_0} = \frac{1}{4\pi \times 8.85 \times 10^{-12}} = 9 \times 10^9 \text{ N-m}^2/\text{C}^2 \right]$$

একক আধানের সংজ্ঞা : দুটি সমপরিমাণ ও সমজাতীয় আধান শূন্য মাধ্যমে পরস্পর হতে 1 m দূরে অবস্থিত হয়ে যদি পরস্পরের প্রতি $9 \times 10^9 \text{ N}$ বিকর্ষণ বল প্রয়োগ করে, তবে তাদের প্রত্যেককে একক আধান বলা হবে। এই এককের নাম কুলম্ব (C)।

[দ্র: প্রবাহী তড়িৎবিজ্ঞান অনুযায়ী কুলম্বের সংজ্ঞা তড়িৎ-বিশ্লেষণ হতে পাওয়া যায়। যে পরিমাণ তড়িৎ সিলভার নাইট্রেট দ্রবণে পাঠালে রাসায়নিক ক্রিয়ার ফলে 0.001118 g রূপা ক্যাথোড প্লেটে জমা করতে পারে তাহাকে 1 কুলম্ব ধরা হয়।]

অন্যান্য একক :

CGS পদ্ধতিতে আধানের স্থির-তড়িৎ একক ছাড়া আর একটি একক আছে। একে তড়িৎ-চুম্বকীয়

একক (electro-magnetic unit বা সংক্ষেপে e. m. u.) বলে। এই একক-কে অনেক সময় আবকুলম্ব (abcoulomb) ও বলা হয়। এই একক তড়িৎপ্রবাহের চুম্বকীয় ফলের ওপর প্রতিষ্ঠিত (প্রবাহী তড়িৎ-বিজ্ঞান দ্রষ্টব্য)। 1 ই.এস.ইউ তড়িতাধান পরিমাণে ক্ষুদ্র হওয়ায় ব্যবহারিক ক্ষেত্রে আর একটি বড়ো এককের প্রচলন আছে। তড়িতাধানের এই ব্যবহারিক নাম কুলম্ব (coulomb)। লক্ষ কর এস্. আই. পদ্ধতি অনুযায়ীও তড়িতাধানের এককের নাম কুলম্ব (প্রবাহী তড়িৎ বিজ্ঞান দ্রষ্টব্য)। নিম্নলিখিত সম্পর্কগুলি মনে রাখবে :

1 e. m. u. তড়িতাধান = c esu তড়িতাধান = 3×10^{10} e.s.u. তড়িতাধান (c = আলোর গতিবেগ)

1 e. m. u. তড়িতাধান = 10 কুলম্ব

অথবা, 1 কুলম্ব = 3×10^9 e. s. u. তড়িতাধান।

□ EXAMPLES □

1. দুটি তড়িতাধান, একটি অপরটি অপেক্ষা 20 গুণ শক্তিশালী—বায়ু মধ্যে 10 m দূরে থেকে পরস্পরের ওপর 250 mg wt বল প্রয়োগ করে। কুলম্ব এককে প্রত্যেক তড়িতাধানের মান নির্ণয় করো।

উঃ। এক্ষেত্রে $F = 250 \text{ mg. wt.} = (250 \times 10^{-6}) \times 9.8 \text{ N}$ । ধরি, একটি আধানের পরিমাণ = q কুলম্ব; কাজেই অপরটির পরিমাণ = $20 q$ কুলম্ব।

এখন, বায়ু মধ্যে $F = \frac{q_1 q_2}{4\pi\epsilon_0 r^2}$; এক্ষেত্রে $F = (250 \times 9.8 \times 10^{-6})\text{N}$; $q_1 = q$; $q_2 =$

$20q$; $r = 10 \text{ m}$ এবং $\frac{1}{4\pi\epsilon_0} = 9 \times 10^9$.

$$\therefore 250 \times 9.8 \times 10^{-6} = \frac{20 \cdot q^2}{(10)^2} \times 9 \times 10^9 = 18q^2 \times 10^8$$

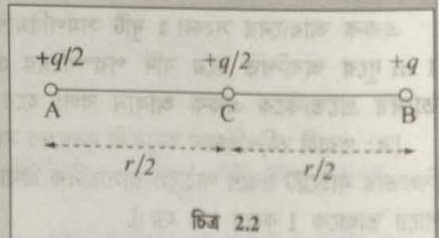
$$\therefore q^2 = \frac{250 \times 9.8 \times 10^{-6}}{18 \times 10^8} = 13.61 \times 10^{-13}$$

$$\therefore q = 1.16 \times 10^{-6} \text{ C}; \text{ অপর আধান} = 20 \times 1.16 \times 10^{-6} = 2.32 \times 10^{-5} \text{ C.}$$

2. দুটি অবিকল একই রকমের ধাতব গোলককে সমপরিমাণ ধনাত্মক তড়িতাধান দেওয়া হলে তাদের ভিতর 2 dyne বিকর্ষণ বল ক্রিয়া করে। আর একটি একই রকমের গোলক C-কে A-গোলকের সাথে স্পর্শ করে A এবং B-এর ঠিক মাঝখানে রাখা হল। C গোলকের ওপর মোট কত বল ক্রিয়া করবে?

উঃ। ধরো, A এবং B গোলকে $+q$ পরিমাণ তড়িতাধান দেওয়া হল এবং তাদের দূরত্ব r .

$$\text{প্রশ্নানুযায়ী, } \frac{q^2}{r^2} = 2 \dots (i)$$



চিত্র 2.2

C গোলককে A গোলকের সঙ্গে স্পর্শ করালে, A গোলকের তড়িতাধান ঐ দুই গোলকে সমভাবে বণ্টিত হবে। সুতরাং এখন প্রত্যেক গোলকে

তড়িতাধানের পরিমাণ হবে $+q/2$. কিন্তু B গোলকের তড়িৎ আধান পূর্বের মতো $+q$ আছে। C গোলক-কে A এবং B-এর ঠিক মাঝখানে বসালে A এবং B হতে C-গোলকের দূরত্ব হবে $\frac{r}{2}$ [চিত্র 2.2]।

$$\begin{aligned} \text{এই অবস্থায় A কর্তৃক C-এর ওপর প্রযুক্ত বিকর্ষণ বল} &= \frac{q/2 \times q/2}{(r/2)^2} \\ &= \frac{q^2}{r^2} \cdot \text{dyne} \quad \vec{AC} \text{ অভিমুখে।} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{আবার B কর্তৃক C-এর ওপর প্রযুক্ত বিকর্ষণ বল} &= \frac{q \times q/2}{(r/2)^2} = \frac{2q^2}{r^2} \cdot \text{dyne} \quad \vec{BC} \\ &\text{অভিমুখে।} \end{aligned}$$

$$\therefore \text{C-এর ওপর মোট বল} = \frac{2q^2}{r^2} - \frac{q^2}{r^2} = \frac{q^2}{r^2} = 2 \text{ dyne} \quad \vec{BC} \text{ অভিমুখে।}$$

[দ্র : অঙ্কটি c.g.s. পদ্ধতিতে করা হয়েছে।]

3. দুটি ক্ষুদ্র ম্যাগনেসিয়াম কণা—প্রত্যেকটির ভর **360 mg**—পরস্পর হতে **10 cm** দূরে রাখা আছে। যদি একটি কণা হতে **0.01%** ইলেকট্রন অপর কণায় স্থানান্তরিত করা হয়, তাহলে, কণা দুটির ভিতর কত তড়িৎবল কার্য করবে নির্ণয় করো। ম্যাগনেসিয়ামের পারমাণবিক ভর **24 g/mol** এবং প্রত্যেকটি ম্যাগনেসিয়াম পরমাণুতে **12** টি ইলেকট্রন আছে। প্রত্যেক ইলেকট্রনের আধান $e = 1.6 \times 10^{-19} \text{C}$.

উঃ। ম্যাগনেসিয়ামের পারমাণবিক ভর **24 g/mol**। অতএব, **24 g** ম্যাগনেসিয়ামে 6×10^{23} পরমাণু আছে যার প্রত্যেকটিতে **12** টি ইলেকট্রন বর্তমান। অতএব, **360 mg** ম্যাগনেসিয়ামে ইলেকট্রনের

$$\text{সংখ্যা} = \frac{(360 \times 10^{-3}) \times 6 \times 10^{23} \times 12}{24} = 10.8 \times 10^{22}$$

$$\begin{aligned} \text{এক কণা হতে অপর কণাতে স্থানান্তরিত ইলেকট্রনের সংখ্যা} &= \frac{0.01}{100} \times 10.8 \times 10^{22} \\ &= 10.8 \times 10^{18} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{স্থানান্তরিত তড়িতাধানের পরিমাণ} &= e \times 10.8 \times 10^{18} = 1.6 \times 10^{-19} \times 10.8 \times 10^{18} = \\ &1.73 \text{ C.} \end{aligned}$$

আগে কণা দুটিতে কোনো তড়িতাধান ছিল না। এখন, একটি কণাতে **+1.73 C** এবং অপরটিতে **-1.73 C** তড়িতাধানের উদ্ভব হল।

$$\begin{aligned} \therefore \text{কণাদুটির ভিতর তড়িৎবল} &= \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \times \frac{(1.73)^2}{(10 \times 10^{-2})^2} = \frac{9 \times 10^9 \times (1.73)^2}{10^{-2}} \\ &= 2.7 \times 10^{12} \text{ N (প্রায়)} \end{aligned}$$

4. বায়ু মধ্যে দুটি বস্তুকণাকে **10 m** দূরে রাখা হল। মোট **20** কুলম্ব তড়িতাধান কণা দুটির ভিতর কীভাবে বণ্টন করলে, তাদের পারস্পরিক বিকর্ষণ বল সর্বাধিক হবে? ওই সর্বাধিক বলের পরিমাণ কত?

উঃ। ধরা যাক, একটি বস্তুকণাতে q কুলম্ব তড়িতাধান দেওয়া হল। তাহলে অপর বস্তুর কণার

আধান = $(20 - q)$ কুলম্ব; এই অবস্থায় বিকর্ষণ বল $F = \frac{q(20 - q)}{4\pi\epsilon_0 (10)^2}$ newton.

এখন, F সর্বাধিক হতে গেলে সহজেই বোঝা যায় $q(20 - q)$ সর্বাধিক হতে হবে।

$$\begin{aligned} \text{ধর, } x &= q(20 - q) = 20q - q^2 \\ &= 100 - (q - 10)^2 \end{aligned}$$

স্পষ্টত x সর্বাধিক মান পায় যখন $q - 10 = 0$ অথবা $q = 10$ কুলম্ব। সুতরাং বিকর্ষণ বল F সর্বাধিক হবে যখন বস্তুকণা দুটিতে 20 কুলম্ব সমানভাবে বন্টিত হবে।

$$\text{আবার } F_{\max} = \frac{10 \times 10}{4\pi\epsilon_0 (10)^2} = 9 \times 10^9 \times \frac{100}{100} = 9 \times 10^9 \text{ N.}$$

5. দুটি শোলাবল — প্রত্যেকটির ভর $0.1 \text{ g} - 10 \text{ cm}$ দীর্ঘ সিল্কের সুতো দিয়ে ঝুলানো আছে। তাদের সমপরিমাণ তড়িতাধান দিলে বিকর্ষণের ফলে, পরস্পর হতে 10 cm ফাঁক হয়ে থাকে। প্রত্যেক শোলাবলে কত পরিমাণ আধান দেওয়া হল?

উঃ। সুতো O বিন্দু হতে ঝুলানো এবং A ও B দুটি শোলাবল [চিত্র 2.3]। সাম্যবস্থায় A বলের ওপর নিম্নলিখিত বলগুলি ক্রিয়া করে :

(i) সুতোর টান T

(ii) বলের ওজন mg

(iii) B বলের দরুন বিকর্ষণ বল F .

বলগুলিকে অনুভূমিক ও উল্লম্বদিকে বিভাজন করলে পাই,

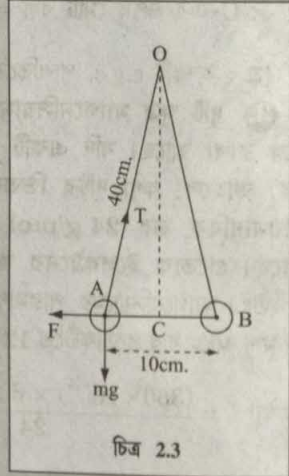
$$T \cos AOC = mg \text{ এবং } T \sin AOC = F.$$

$$\text{ভাগ দিলে } \frac{F}{mg} = \tan AOC = \frac{AC}{OC}$$

$$\text{অথবা } F = \frac{AC}{OC} \times mg \dots\dots (i)$$

$$\text{এখন, } AC = \frac{10}{2} = 5 \text{ cm এবং } OC = \sqrt{(40)^2 - (5)^2} = \sqrt{1575} = 39.69 \text{ cm.}$$

$$\begin{aligned} (i) \text{ নং সমীকরণ হতে পাই } F &= (0.1 \times 980) \times \frac{5}{39.69} = 10.03 \text{ dyne} \\ &= 10 \text{ dyne (প্রায়)} \end{aligned}$$



চিত্র 2.3

$$\text{প্রত্যেক শোলাবলে } q \text{ পরিমাণ তড়িতাধান থাকলে, } F = \frac{q^2}{(10)^2} \therefore 10 = \frac{q^2}{(10)^2}$$

$$\text{অথবা, } q^2 = (10)^3 \text{ অথবা, } q = \sqrt{(10)^3} = 31.65 \text{ unit.}$$

[দ্র : অংকটি c.g.s. পদ্ধতিতে করা হল।]

2.3. মাধ্যমের পরাবৈদ্যুতিক ধ্রুবক (Dielectric constant of a medium) :

পূর্বে বলা হয়েছে, কোনো মাধ্যমের পরম ভেদনযোগ্যতা ϵ এবং শূন্য মাধ্যমের পরম ভেদনযোগ্যতা ϵ_0

হলে ঐ মাধ্যমের পরাবৈদ্যুতিক ধ্রুবক $K = \frac{\epsilon}{\epsilon_0} = \frac{\text{মাধ্যমের পরম ভেদনযোগ্যতা}}{\text{শূন্য মাধ্যমের পরম ভেদনযোগ্যতা}}$;

একে ঐ মাধ্যমের আপেক্ষিক ভেদনযোগ্যতা (relative permittivity) বলা হয়।

এখন cgs পদ্ধতিতে $\epsilon_0 = 1$ ধরা হয়; কাজেই ঐ পদ্ধতি $K = \epsilon$ অর্থাৎ মাধ্যমের পরাবৈদ্যুতিক ধ্রুবক, ভেদনযোগ্যতা এবং পরম ভেদনযোগ্যতা সবই সংখ্যাগত ভাবে সমান। তবে পরম ভেদনযোগ্যতার একটি একক আছে ($\text{esu}^2/\text{dyn} \cdot \text{cm}^2$) কিন্তু পরাবৈদ্যুতিক ধ্রুবক দুটি ভেদন যোগ্যতার অনুপাত হওয়ায়, এর কোনো একক নেই; এটা বিশুদ্ধ সংখ্যা মাত্র। যেমন, অত্রের পরাবৈদ্যুতিক ধ্রুবক = 5.7; তাই অত্রের ভেদনযোগ্যতা = $5.7 \text{ esu}^2/\text{dyn} \cdot \text{cm}^2$ ।

এস. আই. পদ্ধতিতে $\epsilon_0 = 1$ নয়; এর মান = $8.85 \times 10^{-12} \text{ coulomb}^2/\text{newton} \cdot \text{m}^2$; ফলে $K = \epsilon$ হবে না। যেমন, অত্রের পরাবৈদ্যুতিক ধ্রুবক $K = 5.7$ কিন্তু এর ভেদনযোগ্যতা = $K \cdot \epsilon_0 = 5.7 \times 8.85 \times 10^{-12} \text{ coulomb}^2/\text{newton} \cdot \text{m}^2 = 5.04 \times 10^{-11} \text{ C}^2/\text{newton} \cdot \text{m}^2$ ।

● তড়িৎবলের পরিপ্রেক্ষিতে মাধ্যমের পরাবৈদ্যুতিক ধ্রুবক :

শূন্য মাধ্যমে দুটি তড়ি়াধান q_1 এবং q_2 থাকলে, তাদের ভিতর যদি তড়িৎবল F_1 হয় তাহলে,

$$F_1 = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{q_1 q_2}{r^2} \dots (i) \quad [r = \text{আধানদ্বয়ের পারস্পরিক দূরত্ব}]$$

ঐ আধানদ্বয় কোনো বিশেষ মাধ্যমে (যার পরাবৈদ্যুতিক ধ্রুবক ϵ_r) একই দূরত্বে অবস্থিত থাকলে,

$$\text{তাদের ভিতর তড়িৎবল } F_2 = \frac{1}{4\pi\epsilon_0\epsilon_r} \cdot \frac{q_1 q_2}{r^2}$$

$$(i) \text{ নং সমীকরণ-কে } (ii) \text{ নং দ্বারা ভাগ দিলে পাই } \frac{F_1}{F_2} = \epsilon_r \text{ (অথবা } K) \dots (iii)$$

(iii) নং সমীকরণের পরিপ্রেক্ষিতে মাধ্যমের পরাবৈদ্যুতিক ধ্রুবকের নিম্নলিখিত সংজ্ঞা দেওয়া যায় :

শূন্য মাধ্যমে দুটি বিন্দু তড়ি়াধান পরস্পর হতে কিছু দূরে অবস্থিত থেকে পরস্পরের ওপর যে তড়িৎবল প্রয়োগ করে এবং একই দূরত্বে কোনো নির্দিষ্ট মাধ্যমে অবস্থিত থেকে যে তড়িৎবল প্রয়োগ করে, এই দুই বলের অনুপাতকে ঐ মাধ্যমের পরাবৈদ্যুতিক ধ্রুবক বা আপেক্ষিক ভেদন যোগ্যতা বলা হয়।

2.4. স্থিরতড়ি়াতিক বল ও মহাকর্ষ বলের তুলনা (Comparison between electrostatic force and gravitational force) :

দুটি তড়িৎগ্রস্ত বস্তুর ভিতর স্থির তড়ি়াতিক বল ছাড়া মহাকর্ষ বলও ক্রিয়া করে। এই দুই বলের মধ্যে যেমন সাদৃশ্য আছে, তেমনি কিছু বৈসাদৃশ্যও আছে।

সাদৃশ্য : (i) দুই বলই কেন্দ্রগ বল (central force) — অর্থাৎ এরা বস্তুদ্বয়ের কেন্দ্রবিন্দু সংযোগকারী সরলরেখা বরাবর ক্রিয়া করে।

(ii) উভয় বলই দূরত্বের বর্গের ব্যস্তানুপাতিক সূত্র মেনে চলে।

(iii) উভয় বলই সংরক্ষী বল — অর্থাৎ বলদ্বয় কর্তৃক কৃতকার্য পথ-নির্ভর নয়।

(iv) উভয় বলই শূন্য মাধ্যমে ক্রিয়াশীল।

বৈসাদৃশ্য : (i) মহাকর্ষ বল সর্বদা আকর্ষক বল; স্থিরতাত্ত্বিক বল আকর্ষক অথবা বিকর্ষক দুই-ই হতে পারে।

(ii) মহাকর্ষ বল মাধ্যম নিরপেক্ষ কিন্তু স্থিরতাত্ত্বিক বল মাধ্যমের ওপর নির্ভর করে।

(iii) মহাকর্ষ বল পরিমাণে খুব সামান্য; স্থিরতাত্ত্বিক বল পরিমাণে খুবই বৃহৎ।

● ইলেকট্রন ও প্রোটন এই দুটি মূল কণিকার ক্ষেত্রে উপরোক্ত দু-প্রকার বলের পরিমাণ হিসাব করে দেখানো যায় যে মহাকর্ষ বলের তুলনায় তড়িৎবল অনেকগুণ বেশি। ইলেকট্রন ও প্রোটন উভয়ের তড়িৎতান $e = 1.6 \times 10^{-19}$ কুলম্ব; ইলেকট্রনের ভর $m_e = 9.1 \times 10^{-31}$ kg; প্রোটনের ভর $m_p = 1.67 \times 10^{-27}$ kg।

কণা দুটি বায়ুমাধ্যমে r metre দূরত্বে থাকলে, তাদের ভিতর তড়িৎ-আকর্ষণ বল

$$F_1 = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{e \times e}{r^2} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{(1.6 \times 10^{-19})^2}{r^2} = 9 \times 10^9 \frac{(1.6 \times 10^{-19})^2}{r^2} \text{ newton.}$$

নিউটনের মহাকর্ষ সূত্রানুযায়ী কণা দুটির ভিতর মহাকর্ষীয় আকর্ষণ বল

$$F_2 = G \frac{m_e \times m_p}{r^2} = 6.67 \times 10^{-11} \cdot \frac{9.1 \times 10^{-31} \times 1.67 \times 10^{-27}}{r^2} \text{ newton.}$$

$$\therefore \frac{F_1}{F_2} = 2.27 \times 10^{39} \text{ (প্রায়)।}$$

দেখা যাচ্ছে যে ইলেকট্রন ও প্রোটনের ভিতর তড়িৎ আকর্ষণ বল তাদের ভিতর মহাকর্ষীয় আকর্ষণ বল অপেক্ষা অনেক বেশি।

তথাপি একথা মনে করার কোনো কারণ নেই যে স্থির-তাত্ত্বিক বলই একমাত্র গুরুত্বপূর্ণ বল। বস্তুত মহাকর্ষীয় বল স্থির-তাত্ত্বিক বল অপেক্ষা অধিক গুরুত্বপূর্ণ কারণ এই বিশ্বের বেশিরভাগ বস্তুই তড়িৎ বহীন।

□ EXAMPLES □

1. + 80 এবং - 70 e.s.u. মানের দুটি তড়িৎতান 25 cm দূরে একটি মাধ্যমের ভিতর বসানো আছে। এদের ভিতর বল যদি 4 dyne হয়, তবে মাধ্যমের পরাবৈদ্যুতিক ধ্রুবক কত?

উঃ। মাধ্যমের পরাবৈদ্যুতিক ধ্রুবক K হলে, কুলম্ব সূত্র হতে লেখা যায়, $F = \frac{1}{K} \cdot \frac{q_1 q_2}{r^2}$ (cgs)

$F = 4$ dyne; $q_1 = 80$ e.s.u.; $q_2 = -70$ e.s.u. [ঋণাত্মক চিহ্ন বুঝায় যে আকর্ষণ বল ক্রিয়া করছে]; $r = 25$ cm;

$$\text{অতএব, } 4 = \frac{1}{K} \cdot \frac{80 \times 70}{(25)^2} \therefore K = \frac{80 \times 70}{4 \times (25)^2} = 2.25 \text{ (প্রায়)।}$$

2. দুটি একই রকম গোলককে একই ভাবে তড়িৎতানিত করে সমান দৈর্ঘ্যের সুতো দিয়ে ঝোলালে সুতো দুটি পরস্পরের সাথে 30° কোণ করে। তাদের 0.9 g/cm^3 ঘনত্বের তরলে নিমজ্জিত করলে সুতো দুটির পারস্পরিক কোণ অপরিবর্তিত থাকে। গোলকের উপাদানের ঘনত্ব 1.6 g/cm^3 হলে, তরলের পরাবৈদ্যুতিক ধ্রুবক কত?

উঃ। যখন গোলকদ্বয় বায়ুতে [চিত্র 2.4 (i)] তখন যে-কোনো গোলকের ওপর নিম্নলিখিত বলগুলি ক্রিয়া করে :

(i) গোলকের ওজন mg খাড়া নিম্নমুখী (ii) বিকর্ষণ বল F (iii) টান T , যেহেতু গোলক স্থির, সেহেতু $T \cos 15^\circ = mg$ এবং $T \sin 15^\circ = F$;

$$\tan 15^\circ = \frac{F}{mg} \dots (i)$$

যখন গোলক দুটি তরলের ভিতর নিমজ্জিত [চিত্র 2.4 (ii)] তখন তাদের ওপর স্থানচ্যুত তরলের উর্ধ্বঘাত পড়বে। যদি

গোলকের ব্যাসার্ধ r এবং তরলের ঘনত্ব σ হয় তবে উর্ধ্বঘাত $B = \frac{4\pi}{3} r^3 \cdot \sigma \cdot g$ । এক্ষেত্রে, $T \cos 15^\circ + B = mg$ এবং $T \sin 15^\circ = F_1$

$$\text{অথবা, } \tan 15^\circ = \frac{F_1}{mg - B} \dots (ii) [F_1 = \text{তরলে নিমজ্জিত অবস্থায় বিকর্ষণ বল}]$$

$$(i) \text{ এবং } (ii) \text{ সমীকরণ থেকে পাই, } \frac{F_1}{F} = \frac{mg - B}{mg} = 1 - \frac{B}{mg}$$

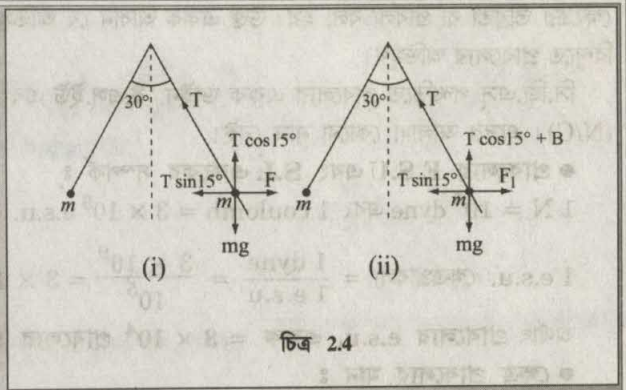
$$\therefore \frac{F_1}{F} = 1 - \frac{\frac{4}{3}\pi r^3 \sigma g}{\frac{4}{3}\pi r^3 \rho g} = 1 - \frac{\sigma}{\rho} = 1 - \frac{0.8}{1.6} = \frac{1}{2} \text{ অথবা } \frac{F}{F_1} = 2$$

$$\text{অথবা } \frac{F_{\text{air}}}{F_{\text{liquid}}} = 2$$

$$[\rho \text{ গোলক উপাদানের ঘনত্ব এবং } m = \frac{4}{3}\pi r^3 \cdot \rho.]$$

$$\text{কিন্তু } \frac{F_{\text{air}}}{F_{\text{liquid}}} = K (4.1 \text{ অনুচ্ছেদ দ্রষ্টব্য}) \therefore K = 2$$

অতএব, তরলের পরাবৈদ্যুতিক ধ্রুবক = 2.



চিত্র 2.4

2.5. তড়িৎ ক্ষেত্র (Electric field):

সংজ্ঞা : কোনো তড়িৎ আধানের চতুর্দিকে যে অঞ্চলে অন্য কোনো ক্ষুদ্র তড়িৎ আধান আনলে তা প্রথম আধান কর্তৃক আকর্ষণ বা বিকর্ষণ বল অনুভব করবে সেই অঞ্চলকে প্রথমোক্ত তড়িৎ আধানের ক্ষেত্র বলা হয়।

গণিতের হিসাবে এই ক্ষেত্র অসীম পর্যন্ত বিস্তৃত কিন্তু কার্যত দেখা যায় নির্দিষ্ট সীমা পর্যন্ত আকর্ষণ বা বিকর্ষণ বল ক্রিয়া করে। তারপর আর বিশেষ কোনো বল অনুভূত হয় না।

ক্ষেত্রের তীব্রতা বা প্রাবল্য (Intensity of the field) : তড়িৎক্ষেত্রের কোনো বিন্দুতে একক ধনাত্মক আধান (unit positive charge) রাখলে তা যে-বল অনুভব করে তাকে ঐ বিন্দুতে উক্ত তড়িৎ

ক্ষেত্রের তীব্রতা বা প্রাবল্য বলা হয়। উক্ত একক আধান যে অভিমুখে বল অনুভব করবে তাই হবে ঐ বিন্দুতে প্রাবল্যের অভিমুখ।

সি.জি.এস্ পদ্ধতিতে প্রাবল্যের একক ডাইন./ই.এস্.ইউ এবং এস. আই পদ্ধতিতে নিউটন/কুলম্ব (N/C)। এদের আলাদা কোনো নাম নেই।

● প্রাবল্যের E.S.U এবং S.I. এককের সম্পর্ক :

1 N = 10^5 dyne এবং 1 coulomb = 3×10^9 e.s.u. কাজেই,

$$1 \text{ e.s.u. ক্ষেত্রপ্রাবল্য} = \frac{1 \text{ dyne}}{1 \text{ e.s.u.}} = \frac{3 \times 10^9}{10^5} = 3 \times 10^4 \text{ S.I. unit}$$

অর্থাৎ প্রাবল্যের e.s.u. একক = 3×10^4 প্রাবল্যের S.I. একক।

● ক্ষেত্র প্রাবল্যের মান :

(a) মনে কর, ϵ ভেদনযোগ্যতাসম্পন্ন কোনো মাধ্যমে q e.s.u. আধান হতে r cm দূরে একটি বিন্দু নেওয়া হল। ঐ বিন্দুতে ধনাত্মক একক আধান রাখলে কুলম্ব সূত্রানুযায়ী ঐ একক আধান যে বল অনুভব

করবে তাহা $F = \frac{q \times 1}{\epsilon r^2} = \frac{q}{\epsilon r^2}$ dyne/e.s.u. সুতরাং ঐ বিন্দুতে ক্ষেত্রপ্রাবল্য

$E = \frac{q}{\epsilon r^2}$ dyne/e.s.u.; শূন্য বা বায়ু মাধ্যমে $\epsilon = 1$ হওয়ায়, বায়ু মাধ্যমে ক্ষেত্রপ্রাবল্য

$$E = \frac{q}{r^2} \text{ dyne/e.s.u.}$$

এথেকে বোঝা যায় ক্ষেত্রের বিভিন্ন বিন্দুতে প্রাবল্যের মান বিভিন্ন। এখন, কোনো বিন্দুতে ক্ষেত্রের প্রাবল্য E হলে, ঐ বিন্দুতে রাখা q আধান যে-বল অনুভব করবে তা যদি F ধরা হয় তবে $F = Eq$ dyne।

বল = ক্ষেত্রপ্রাবল্য \times তড়িতাধান।

বলা বাহুল্য, তড়িৎক্ষেত্রের তীব্রতা বা প্রাবল্য একটি ভেক্টর রাশি। অনেক সময় একে তড়িৎক্ষেত্র ভেক্টর (electric field vector) বলা হয়।

$$(b) \text{ এস্. আই. পদ্ধতিতে } q \text{ কুলম্ব তড়িতাধান হতে } r \text{ metre দূরে ক্ষেত্রপ্রাবল্য } E = \frac{q}{4\pi\epsilon_0\epsilon_r r^2}$$

newton/C এবং শূন্য মাধ্যমে ($\epsilon_r = 1$), ক্ষেত্রপ্রাবল্য $E = \frac{q}{4\pi\epsilon_0 r^2}$ newton/C.

$$\begin{aligned} [\text{তড়িৎ প্রাবল্যের বিকল্প একক : প্রাবল্য } E &= \text{NC}^{-1} = \frac{\text{নিউটন} \times \text{মিটার}}{\text{কুলম্ব} \times \text{মিটার}} \\ &= \frac{\text{জুল}}{\text{কুলম্ব} \times \text{মিটার}} = \frac{\text{ভোল্ট}}{\text{মিটার}} = \text{Vm}^{-1}] \end{aligned}$$

2.6.

বিন্দু তড়িতাধানের জন্য তড়িৎ-ক্ষেত্র প্রাবল্য (Electric field due to a point charge) :

ধর, কার্টেসীয় নির্দেশতন্ত্রের মূলবিন্দু O -তে একটি বিন্দু তড়িতাধান q রাখা আছে। এখন, O বিন্দুর সাপেক্ষে r দূরে একটি বিন্দু P নেওয়া হল। \vec{r} হল P বিন্দুর স্থান-ভেক্টর (position vector)। ধরো, P বিন্দুতে q_0 পরিমাণ একটি টেস্ট-চার্জ (test charge) রাখা হল। q তড়িতাধানের জন্য q_0 আধান যদি F বল অনুভব করে, তবে কুলম্ব সূত্রানুযায়ী, $\vec{F} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{q \cdot q_0}{r^2} \hat{r}$ যেখানে \hat{r} হল

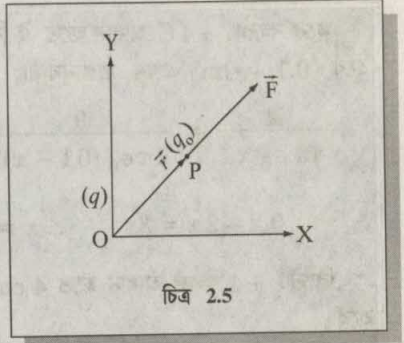
\vec{r} এর অভিমুখে একক ভেক্টর।

$$\text{যেহেতু } \hat{r} = \frac{\vec{r}}{r}; \text{ সেহেতু } \vec{F} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{q \cdot q_0}{r^3} \cdot \vec{r}$$

উভয় দিক-কে q_0 দ্বারা ভাগ করলে পাই,

$$\frac{\vec{F}}{q_0} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{q \cdot \vec{r}}{r^3}$$

কিন্তু $\frac{\vec{F}}{q_0}$ = একক আধান কর্তৃক অনুভূত বল। যেহেতু



চিত্র 2.5

একক আধান কর্তৃক অনুভূত বল P বিন্দুতে তড়িৎ ক্ষেত্র \vec{E} এর সমান,

$$\text{তাই, } \vec{E}(r) = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{q}{r^3} \cdot \vec{r}$$

$$\text{তড়িৎক্ষেত্রের মান (magnitude) } E_r = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{q}{r^2}$$

[দ্রষ্টব্য : একই তলে অবস্থিত n সংখ্যক বিন্দু আধানের জন্য কোনো বিন্দুতে ক্ষেত্র প্রাবল্য

$$\vec{E}_{(r)} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \sum_{n=1}^n \frac{q_n}{r_n^2} \hat{r}_n$$

□ EXAMPLES □

1. বায়ু মধ্যে পরস্পর হতে 12 cm দূরে অবস্থিত +30 এবং +60 e.s.u. দুটি তড়িতাধানের ঠিক মধ্যস্থলে তড়িৎক্ষেত্রের প্রাবল্য কত হবে?

উঃ। আধান দুটির দূরত্ব 12 cm হওয়ায় তাদের ঠিক মধ্যবর্তী বিন্দুর দূরত্ব প্রত্যেক আধান হতে 6 cm। এখন 6 cm দূরের বিন্দুতে +30 e.s.u. আধানের দরুন প্রাবল্য $\frac{30}{(6)^2}$ dyne এবং এর অভিমুখ +60 e.s.u. আধানের দিকে। আবার, 6 cm দূরের বিন্দুতে +60 e.s.u. আধানের দরুন প্রাবল্য $\frac{60}{(6)^2}$ dyne এবং এর অভিমুখ +30 e.s.u. আধানের দিকে।

এই দুই প্রাবল্য একই বিন্দুতে একই সরলরেখা বরাবর বিপরীত দিকে ক্রিয়া করায় ঐ বিন্দুতে লব্ধ প্রাবল্য = $\frac{60}{(6)^2} - \frac{30}{(6)^2} = 0.88 \text{ dyne/e.s.u.}$ এবং এর অভিমুখ +30 e.s.u. আধানের দিকে।

2. +4 এবং +9 কুলম্ব তড়িতাধান বায়ুমধ্যে পরস্পর হতে 0.1 m দূরে রাখা আছে। তাদের যোগ করলে যে সরলরেখা পাওয়া যায় তার ওপর দুটি বিন্দু নির্ধারণ করো যেখানে একটি একক ধনাত্মক আধান (i) সমান কিন্তু বিপরীতমুখী বল অনুভব করবে, (ii) সমান কিন্তু সমমুখী বল অনুভব করবে।

উঃ। (i) একক ধনাত্মক তড়িতাধানের ওপর প্রযুক্ত বল সমান ও বিপরীতমুখী হতে হলে বিন্দুটি আধান দুটির মাঝখানে অবস্থিত হবে, কারণ, উভয় আধানই ধনাত্মক।

মনে করো, $+4C$ আধান হতে ঐ বিন্দুর দূরত্ব x m; অতএব অপর আধান হতে ঐ বিন্দুর দূরত্ব হবে $(0.1 - x)m$ । এখন, প্রশ্নানুযায়ী,

$$\frac{4}{4\pi\epsilon_0 x^2} = \frac{9}{4\pi\epsilon_0 (0.1 - x)^2} \quad \text{বা,} \quad \frac{2}{x} = \frac{3}{(0.1 - x)}$$

$$\text{বা, } 0.2 - 2x = 3x \quad \therefore x = \frac{1}{25} \text{ m} = 4 \text{ cm}।$$

বিন্দুটি $+4$ কুলম্ব আধান হতে 4 cm দূরে অথবা $+9$ কুলম্ব আধান হতে 6 cm দূরে অবস্থিত হবে।

(ii) একক ধনাত্মক আধানের ওপর প্রযুক্ত বল সমান ও সমমুখী হতে গেলে বিন্দুটি দুটি আধানের একই দিকে থাকবে এবং $+4C$ আধান হতে বিন্দুর দূরত্ব অপর আধান হতে দূরত্ব অপেক্ষা কম হতে হবে।

মনে করো, $+4C$ আধান হতে ঐ বিন্দুর দূরত্ব x m; অতএব, অপর আধান হতে ঐ বিন্দুর দূরত্ব হবে $(0.1 + x) \text{ m}$ ।

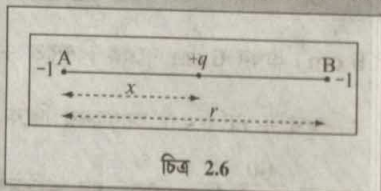
$$\text{এখন প্রশ্নানুযায়ী, } \frac{4}{4\pi\epsilon_0 x^2} = \frac{9}{4\pi\epsilon_0 (0.1 + x)^2} \quad \text{বা,} \quad \frac{2}{x} = \frac{3}{(0.1 + x)}$$

$$\text{বা, } 0.2 + 2x = 3x \quad \therefore x = 0.2 \text{ m} = 20 \text{ cm}।$$

বিন্দুটি $+4C$ আধানের বাম দিকে 20 cm দূরে থাকলে অপর আধানেরও বাম দিকে থাকবে এবং দূরত্ব হবে $(20 + 10) = 30 \text{ cm}$ ।

3. দুটি এক একক ঋণাত্মক তড়িতাধান এবং একটি q পরিমাণ ধনাত্মক আধান একই সরলরেখায় রাখা হল। q -এর কোন্ অবস্থানে এবং পরিমাণ কী হলে ঐ তড়িতাধানগুলি সাম্য অবস্থানে থাকবে? এই সাম্য কি সুস্থির, অস্থির না নিরপেক্ষ সাম্য?

উঃ। q ধনাত্মক আধানটি, অবশ্যই, দুটি একক ঋণাত্মক তড়িতাধানের মাঝে অবস্থিত হবে কারণ তাহলে তার উপর একটি ঋণাত্মক আধানের আকর্ষণ বল অপরটির আকর্ষণ বলের সমান ও বিপরীত হবে। ধরো, একক ঋণাত্মক আধান দুটির ভিতরকার দূরত্ব $= r$ এবং একটি ঋণাত্মক আধান হতে x দূরে $+q$ তড়িতাধান রাখা হল, (চিত্র 2.6)। A বিন্দুতে রাখা ঋণাত্মক তড়িতাধান



চিত্র 2.6

$$\text{কর্তৃক প্রযুক্ত আকর্ষণ বল} = \frac{q \times 1}{4\pi\epsilon_0 x^2}$$

$$\text{এবং B বিন্দুতে অবস্থিত ঋণাত্মক আধান কর্তৃক প্রযুক্ত আকর্ষণ বল} = \frac{q \times 1}{4\pi\epsilon_0 (r - x)^2};$$

$$+ q \text{ আধান সাম্য অবস্থানে থাকলে, } \frac{q \times 1}{4\pi\epsilon_0 x^2} = \frac{q \times 1}{4\pi\epsilon_0 (r - x)^2}$$

$$\text{অথবা } x = r - x \quad \therefore x = \frac{r}{2}$$

ঋণাত্মক আধানগুলি সাম্য অবস্থানে থাকলে যে-কোনো ঋণাত্মক আধানের ওপর $+q$ -এর আকর্ষণ বল দুই ঋণাত্মক আধানের পারস্পরিক বিকর্ষণ বলের সমান ও বিপরীত হতে হবে।

$$\text{অর্থাৎ } \frac{q \times 1}{4\pi\epsilon_0 (r/2)^2} = \frac{1 \times 1}{4\pi\epsilon_0 r^2} \text{ অথবা } q = \frac{1}{4} \text{ একক।}$$

এই সাম্য অস্থির সাম্য কারণ তড়িতাধানগুলির অবস্থানের সামান্য পরিবর্তন হলে তারা আর পূর্বের অবস্থানে ফিরে আসবে না।

৪. $+q$, $+q$, $-q$ এবং $-q$ e.s.u. এই চারটি তড়িতাধানকে ABCD বর্গের A, B, C এবং D বিন্দুতে রাখা হল। বর্গের যে-কোনো বাহুর দৈর্ঘ্য a cm হলে বর্গের কেন্দ্রবিন্দু O-তে তড়িৎক্ষেত্রের প্রাবল্য নির্ণয় করো।

$$\text{উঃ। A বিন্দুতে অবস্থিত } +q \text{ তড়িতাধানের জন্য O বিন্দুতে প্রাবল্য} = \frac{q \times 1}{(AO)^2} = \frac{q}{(a/\sqrt{2})^2} =$$

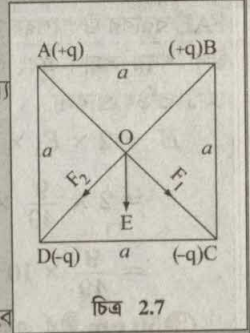
$$\frac{2q}{a^2} \text{ dyne ; এর অভিমুখ } \vec{OC} ; (\text{চিত্র 2.7})$$

C বিন্দুতে অবস্থিত $-q$ তড়িতাধানের জন্য O বিন্দুতে প্রাবল্য

$$\frac{q}{(OC)^2} = \frac{q}{(a/\sqrt{2})^2} = \frac{2q}{a^2} \text{ dyne ; এর অভিমুখও } \vec{OC} ।$$

অতএব, এই দুই তড়িতাধানের জন্য O বিন্দুতে মোট প্রাবল্য

$$F_1 = \frac{2q}{a^2} + \frac{2q}{a^2} = \frac{4q}{a^2} \text{ dyne ; এর অভিমুখ } \vec{OC} । \text{ অনুরূপভাবে}$$



চিত্র 2.7

B বিন্দু ও D বিন্দুতে রাখা তড়িতাধান দুটির জন্য মোট প্রাবল্য $F_2 = \frac{4q}{a^2} \text{ dyne}$; এর অভিমুখ

\vec{OD} .

এখন, দেখা যাচ্ছে $F_1 = F_2$ এবং এরা পরস্পরের অভিলম্ব।

$$\text{অতএব, O বিন্দুতে প্রাবল্য} = \sqrt{\left(\frac{4q}{a^2}\right)^2 + \left(\frac{4q}{a^2}\right)^2} = \frac{4\sqrt{2}q}{a^2} \text{ dyne এবং অভিমুখ } \angle DOC-$$

এর দ্বিগুণক \vec{OE} বরাবর।

৫. একটি সমবাহু ত্রিভুজের ভূমির দুই প্রান্তে $+1 \mu\text{C}$ (মাইক্রোকুলম্ব) ও $-1 \mu\text{C}$ (মাইক্রোকুলম্ব) মান বিশিষ্ট দুটি আধান রাখা হল। ত্রিভুজের একটি বাহুর দৈর্ঘ্য 0.7 metre হলে ত্রিভুজের শীর্ষবিন্দুতে তড়িৎক্ষেত্রের প্রাবল্য নির্ণয় করো।

উঃ। ABC একটি সমবাহু ত্রিভুজ। B এবং C বিন্দুতে যথাক্রমে $+1 \mu\text{C}$ এবং $-1 \mu\text{C}$ আধান রাখা আছে। A বিন্দুতে তড়িৎ ক্ষেত্রের প্রাবল্য নির্ণয় করতে হবে (চিত্র 2.8)।

B বিন্দুর তড়িতাধানের জন্য A বিন্দুর প্রাবল্য

$$F_1 = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \times \frac{1 \times 10^{-6}}{(0.7)^2} [1 \mu\text{C} = 10^{-6}\text{C}]$$

এখন $\frac{1}{4\pi\epsilon_0} = 9 \times 10^9$ হওয়ায়

$$F_1 = \frac{9 \times 10^9 \times 10^{-6}}{(0.7)^2} = \frac{9}{49} \times 10^5 \text{ N/C.}$$

এই প্রাবল্যের অভিমুখ BA বরাবর।

অনুরূপভাবে, C বিন্দুর তড়িতাধানের জন্য A বিন্দুর প্রাবল্য

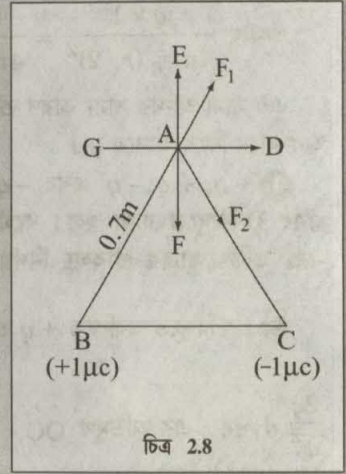
$$F_2 = \frac{9}{49} \times 10^5 \text{ N/C ; এর অভিমুখ AC বরাবর।}$$

এই প্রাবল্য দুটিকে ভূমির সমান্তরাল GAD বরাবর এবং তার অভিলম্ব FAE বরাবর বিভাজন করলে, স্পষ্ট বোঝা যায় FAE বরাবর উপাংশদ্বয় সমান এবং বিপরীত কিন্তু ভূমি সমান্তরাল উপাংশদ্বয় সমান এবং উভয়ই AD বরাবর। অতএব A বিন্দুর মোট তড়িৎ প্রাবল্য

$$E = 2 \times F_1 \times \cos 60^\circ$$

$$= 2 \times \frac{9}{49} \times 10^5 \times \frac{1}{2}$$

$$= \frac{9}{49} \times 10^5 = 1.84 \times 10^4 \text{ N/C ; এর অভিমুখ AD বরাবর।}$$



চিত্র 2.8

6. 50 cm দীর্ঘ একটি অন্তরিত সূতোর সাহায্যে 1 e.s.u. তড়িতাধানযুক্ত একটি শোলাবল ঝুলানো আছে। একটি সুসম তড়িৎক্ষেত্র অনুভূমিকভাবে শোলাবলের ওপর প্রয়োগ করলে বলটি উল্লম্ব রেখা হতে 2 cm সরে যায়। শোলাবলের ভর 0.5 g হলে, তড়িৎক্ষেত্রের প্রাবল্য কত?

উঃ। ধর, তড়িৎক্ষেত্রের প্রাবল্য = E dyne/e.s.u.। স্থির অবস্থায় শোলাবলের ওপর নিম্নলিখিত তিনটি বল ক্রিয়া করে :

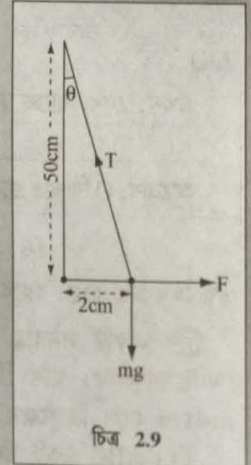
(i) বলের ওজন mg dyne খাড়া নিম্নমুখী; (ii) তড়িৎক্ষেত্রের দরুন অনুভূমিক বল $F = E \cdot e = E \times 1$ dyne; (iii) সূতো বরাবর টান T dyne। উল্লম্ব রেখার সাথে সূতো θ কোণ (চিত্র 2.9) করলে (i) টানের উল্লম্ব উপাংশ $T \cos \theta$ শোলাবলের ওজন mg কে নিষ্ক্রিয় করে এবং (ii) অনুভূমিক উপাংশ $T \sin \theta$ নিষ্ক্রিয় করে F বলকে।

$$\therefore T \cos \theta = mg = 0.5 \times 980 = 490$$

$$\text{এবং } T \cdot \sin \theta = F = E$$

$$\therefore \tan \theta = \frac{E}{490} \text{ অথবা } \frac{2}{50} = \frac{E}{490}$$

$$\therefore E = 19.6 \text{ dyne/e.s.u.।}$$



চিত্র 2.9

7. 1.7×10^{-24} g ভর এবং 1.6×10^{-19} C আধানযুক্ত একটি প্রোটনকে শূন্য মাধ্যমে 100 newton/coulomb তড়িৎক্ষেত্রে স্থিরাবস্থা হতে ছেড়ে দেওয়া হল। 100 cm দূরত্ব যাবার পর প্রোটনটির গতিবেগ কত হবে? তার ত্বরণ কত?

উঃ। প্রোটনের ওপর প্রযুক্ত বল = ক্ষেত্র প্রাবল্য \times তড়িতাধান

$$= 100 \times (1.6 \times 10^{-19}) \text{ N} = 1.6 \times 10^{-17} \text{ N}$$

$$\text{প্রোটনের ত্বরণ } a = \frac{\text{প্রযুক্ত বল}}{\text{ভর}} = \frac{1.6 \times 10^{-17}}{1.7 \times 10^{-27}} = 9.4 \times 10^9 \text{ m/s}^2.$$

$$[\text{ভর} = m = 1.7 \times 10^{-24} \text{ g} = 1.7 \times 10^{-27} \text{ kg}]$$

100 cm (অর্থাৎ 1 m) দূরত্ব যাবার পর প্রোটনের গতিবেগ v হলে,

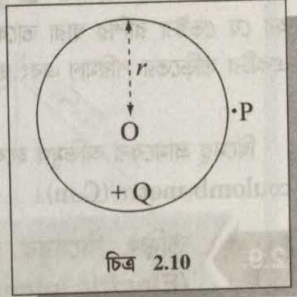
$$v^2 = u^2 + 2.as. = 0 + 2 \times (9.4 \times 10^9) \times 1 = 18.8 \times 10^9$$

$$\therefore v = 1.37 \times 10^5 \text{ m/s (প্রায়)।}$$

2.7.

তড়িৎতাহিত পরিবাহীর নিকটবর্তী বিন্দুতে ক্ষেত্রপ্রাবল্য (Electric intensity at a point near a charged conductor)

ধরো, r ব্যাসার্ধের একটি গোলককে বায়ুতে রেখে $+Q$ কুলম্ব পরিমাণ তড়িৎ দেওয়া হল (চিত্র 2.10)। এখন গোলকের খুব নিকটবর্তী একটি বিন্দু P -তে ক্ষেত্রপ্রাবল্য বলতে আমরা বুঝি যে P -বিন্দুতে রাখা একটি একক ধনাত্মক আধান ঐ গোলকের কেন্দ্রবিন্দু O -তে কেন্দ্রীভূত $+Q$ তড়িৎআধানের জন্য যে-বল অনুভব করবে তা; কারণ প্রমাণ করা যায় যে-কোনো বহির্বিন্দুতে প্রাবল্য নির্ণয়ের ক্ষেত্রে গোলকের তড়িৎআধান গোলকের কেন্দ্রে জমা করা আছে বলে মনে করা যেতে পারে। এখন, O বিন্দুতে কেন্দ্রীভূত $+Q$ তড়িৎআধান এবং P বিন্দুতে অবস্থিত $+1$ তড়িৎআধানের দূরত্ব এক্ষেত্রে গোলকের ব্যাসার্ধের সমান ধরা যাবে।



চিত্র 2.10

$$\text{সুতরাং প্রাবল্য } E = \frac{Q \times 1}{4\pi \epsilon_0 r^2} = \frac{Q}{4\pi \epsilon_0 r^2}$$

$$\text{আবার গোলকের তলমাত্রিক ঘনত্ব } \sigma \text{ হইলে, } \sigma = \frac{Q}{4\pi r^2} \text{ অথবা } Q = 4\pi r^2 \sigma$$

$$\text{অতএব, } E = \frac{4\pi r^2 \sigma}{4\pi \epsilon_0 r^2} = \frac{4\sigma}{\epsilon_0}$$

$$\text{চতুঃপার্শ্ব মাধ্যমের আপেক্ষিক ভেদনযোগ্যতা } \epsilon_r \text{ হলে } E = \frac{\sigma}{\epsilon_r \epsilon_0}.$$

ক্ষেত্রপ্রাবল্যের উপরিউক্ত রাশিমালাতে গোলকের ব্যাসার্ধ নেই; শুধু গোলকের আধানের তলমাত্রিক ঘনত্ব আছে। সুতরাং উপরিউক্ত রাশিমালা যে-কোনো তড়িৎতাহিত পরিবাহীর ক্ষেত্রে প্রয়োগ করা যেতে পারে। অতএব আমরা বলতে পারি যে, কোনো তড়িৎতাহিত পরিবাহীর নিকটবর্তী বায়ু-মাধ্যমস্থিত কোনো বিন্দুতে তড়িৎক্ষেত্রের প্রাবল্য পরিবাহীর ঐ বিন্দুর নিকটবর্তী অংশের আধানের তলমাত্রিক ঘনত্বের (σ) সমানুপাতিক। একে **কুলম্ব উপপাদ্য** বলে।

[দ্রঃ গোলকের পরিবর্তে যে-কোনো আকারের পরিবাহী নিয়ে কুলম্ব উপপাদ্যের বিধিবদ্ধ প্রমাণের জন্য উচ্চস্তরের পাঠ্যপুস্তক দ্রষ্টব্য।]

2.8. তড়িৎ দ্বিমেরু (Electric dipole) :

সমপরিমাণ কিন্তু বিপরীতধর্মী দুটি বিন্দু তড়িৎআধান খুব কাছাকাছি থাকলে, তাকে তড়িৎ দ্বিমেরু বলে।

জল (H_2O), ক্লোরোফর্ম ($CHCl_3$), অ্যামোনিয়া (NH_3) অণু প্রভৃতি স্থায়ী তড়িৎ-দ্বিমেরুর উদাহরণ। এ সকল অণুর ধনাত্মক আধান-বন্টনের কেন্দ্র এবং ঋণাত্মক আধান-বন্টনের কেন্দ্র একই বিন্দুতে অবস্থিত নয়।

তড়িৎ দ্বিমেরু যে তড়িৎ ক্ষেত্র উৎপন্ন করে, তাকে দ্বিমেরু ক্ষেত্র (dipole field) বলা হয়। 2.11 নং চিত্রে একটি তড়িৎ দ্বিমেরু দেখানো হয়েছে। $+q$ এবং $-q$ দুটি সমপরিমাণ কিন্তু

বিপরীত ধর্মী বিন্দু তড়িৎআধান $2l$ ক্ষুদ্র দূরত্বে থেকে দ্বিমেরু গঠন করেছে। তড়িৎ দ্বিমেরুর শক্তি (strength) মাপা হয় যে ভেক্টর রাশির দ্বারা তাকে দ্বিমেরু ভ্রামক (dipole moment) (\vec{p}) বলে। দ্বিমেরুর যে-কোনো একটির তড়িতের পরিমাণ এবং তাদের ভিতরকার দূরত্বের গুণফল দ্বারা দ্বিমেরু ভ্রামক পরিমাপ করা হয়।

$$p = q \times 2l$$

দ্বিমেরু ভ্রামকের অভিমুখ হবে ঋণাত্মক তড়িৎআধান থেকে ধনাত্মক তড়িৎআধানের দিকে। এর একক হল coulomb-metre (C-m)।

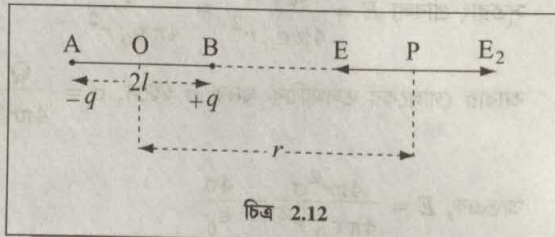
2.9. তড়িৎ দ্বিমেরুর জন্য ক্ষেত্র প্রাবল্য

(Electric intensity due to an electric dipole) :

(ক) দ্বিমেরু অক্ষের ওপর অবস্থিত বিন্দু (Point situated on the dipole axis)

দ্বিমেরুর ধনাত্মক ও ঋণাত্মক বিন্দু আধানকে যুক্ত করলে যে সরলরেখা পাওয়া যায় তাকে দ্বিমেরু অক্ষ বলে।

মনে করো, $+q$ এবং $-q$ বিন্দু আধানদ্বয় ক্ষুদ্র $2l$ দূরত্বে থেকে একটি দ্বিমেরু গঠন করেছে। ধরো, আধান দুটি A এবং B বিন্দুতে অবস্থিত। অক্ষস্থিত P বিন্দুতে ক্ষেত্র প্রাবল্য নির্ণয় করতে হবে। দ্বিমেরুর মধ্যবিন্দু O থেকে P বিন্দুর দূরত্ব $= r$; এখন, $-q$ তড়িৎআধানের জন্য P বিন্দুর ক্ষেত্র প্রাবল্য



চিত্র 2.12

$$E_1 = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{q}{(r+l)^2}; \text{ এই প্রাবল্যের অভিমুখ } \vec{PB} \text{ বরাবর}$$

আবার, $+q$ তড়িৎআধানের জন্য P বিন্দুর ক্ষেত্র-প্রাবল্য

$$E_2 = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{q}{(r-l)^2}; \text{ এই প্রাবল্যের অভিমুখ } \vec{BP} \text{ বরাবর।}$$

$$\therefore P \text{ বিন্দুর লব্ধ প্রাবল্য } E = E_2 - E_1 = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \left[\frac{q}{(r-l)^2} - \frac{1}{(r+l)^2} \right] \vec{BP} \text{ বরাবর।}$$

$$= \frac{q}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{4.r.l}{(r^2 - l^2)^2} = \frac{2(q \times 2l)r}{4\pi\epsilon_0 (r^2 - l^2)^2} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{2p.r}{(r^2 - l^2)^2}$$

যেখানে, তড়িৎ দ্বিমেরু ভ্রামক $p = q \times 2l$.

যদি P বিন্দু বহু দূরে অবস্থিত হয় (অর্থাৎ যদি $r \gg l$) তাহলে r^2 এর তুলনায় l^2 অগ্রাহ্য করা

যায় এবং সেক্ষেত্রে $E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{2p}{r^3}$

(খ) দ্বিমেরু অক্ষের লম্ব-দ্বিখণ্ডকের ওপরে অবস্থিত বিন্দু (Point situated on the perpendicular bisector of the dipole axis)

বিন্দু P দ্বিমেরু অক্ষ AB-এর লম্বদ্বিখণ্ডক OP -এর উপর অবস্থিত [চিত্র 2.13]।

O বিন্দু থেকে P -এর দূরত্ব $= r$;

এখন, $-q$ তড়িতাধানের জন্য P বিন্দুর ক্ষেত্র-

$$\begin{aligned} \text{প্রাবল্য } E_1 &= \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{q}{(AP)^2} \\ &= \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{q}{(r^2 + l^2)}; \text{ এই} \end{aligned}$$

প্রাবল্যের অভিমুখ \vec{PA} বরাবর।

আবার, $+q$ তড়িতাধানের জন্য P বিন্দুর

$$\text{ক্ষেত্র-প্রাবল্য } E_2 = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{q}{(BP)^2}$$

$$= \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{q}{(r^2 + l^2)}; \text{ এই প্রাবল্যের অভিমুখ } \vec{BP} \text{ বরাবর।}$$

$$\text{স্পর্শত } E_1 = E_2 = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{q}{(r^2 + l^2)}$$

আমরা E_1 এবং E_2 প্রাবল্যকে দুটি পারস্পরিক অভিলম্ব দিকে বিভাজন করলে দেখতে পাব যে

\vec{OP} বরাবর উপাংশদ্বয় পরস্পর সমান কিন্তু বিপরীত। ফলে তারা পরস্পরকে নিষ্ক্রিয় করে দেয়। কিন্তু

\vec{BA} বরাবর উপাংশদ্বয় ($E_1 \cos \theta$ এবং $E_2 \cos \theta$) একই দিকে ক্রিয়া করে। তাই, P বিন্দুতে লম্ব

প্রাবল্যের মান $E = E_1 \cos \theta + E_2 \cos \theta = 2E_1 \cos \theta$ [$\because E_1 = E_2$]

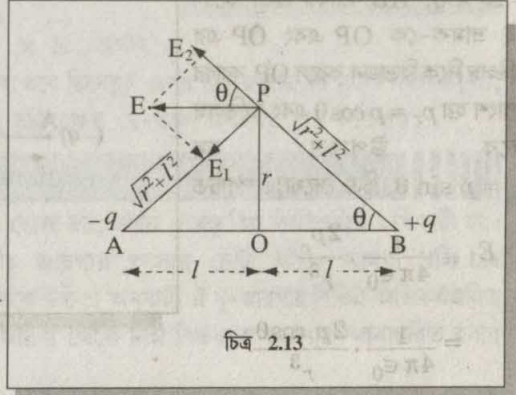
$$= \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{q}{(r^2 + l^2)} \cdot 2 \cos \theta$$

$$= \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{q}{(r^2 + l^2)} \times 2 \times \frac{l}{\sqrt{l^2 + r^2}}$$

$$= \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{p}{(r^2 + l^2)^{3/2}}$$

$$\left[\cos \theta = \frac{l}{\sqrt{l^2 + r^2}} \right]$$

$$[p = 2l \times q]$$



চিত্র 2.13

লম্ব প্রাবল্য E দ্বিমেরু অক্ষের সমান্তরালে B থেকে A অভিমুখে ক্রিয়া করে।

যদি P বিন্দু O বিন্দু থেকে দূরে অবস্থিত হয় (অর্থাৎ যদি $r > l$) তবে লম্ব প্রাবল্য

$$E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{p}{r^3}$$

(গ) যে-কোনো বিন্দুতে প্রাবল্য (Intensity at any point):

P যে-কোনো বিন্দু। ধরো OP রেখা

দ্বিমেরু অক্ষের সঙ্গে θ কোণে আনত এবং P -বিন্দু অক্ষের মধ্যবিন্দু O থেকে r দূরে অবস্থিত। দ্বি-মেরু ভ্রামক $p = 2l \times q$, AB বরাবর ক্রিয়া করে। এই ভ্রামক-কে OP এবং OP এর অভিলম্ব দিকে বিভাজন করলে OP বরাবর উপাংশ হয় $p_r = p \cos \theta$ এবং অভিলম্ব দিকে $p_\theta = p \sin \theta$ [চিত্র দেখো]। স্পষ্টত

$$E_1 = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{2p_r}{r^3}$$

$$= \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{2p \cdot \cos \theta}{r^3}$$

$$\text{এবং } E_2 = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{p_\theta}{r^3}$$

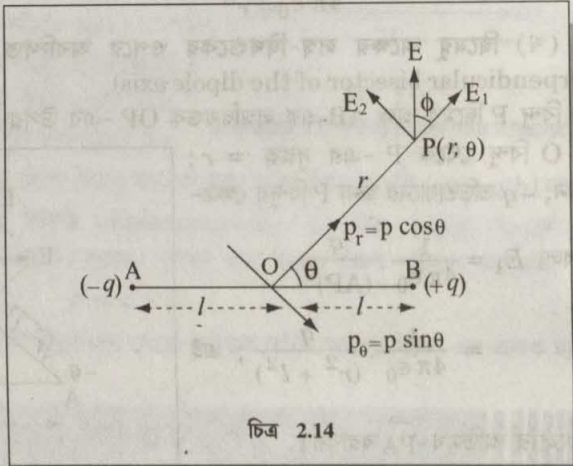
$$= \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{p \cdot \sin \theta}{r^3}$$

E_1 এবং E_2 পরস্পরের লম্ব হওয়ায়, P বিন্দুতে লম্ব প্রাবল্য

$$E = \sqrt{E_1^2 + E_2^2} = \frac{p}{4\pi\epsilon_0 r^3} \sqrt{1 + 3\cos^2 \theta}$$

E -এর অভিমুখ : ধর, OP রেখার সঙ্গে লম্ব প্রাবল্য E -এর নতি $= \phi$ [চিত্র 2.14 দেখো]

$$\tan \phi = \frac{E_2}{E_1} = \frac{p \cdot \sin \theta}{r^3} \times \frac{r^3}{2p \cos \theta} = \frac{1}{2} \tan \theta \quad \therefore \phi = \tan^{-1} \left(\frac{1}{2} \tan \theta \right)$$



চিত্র 2.14

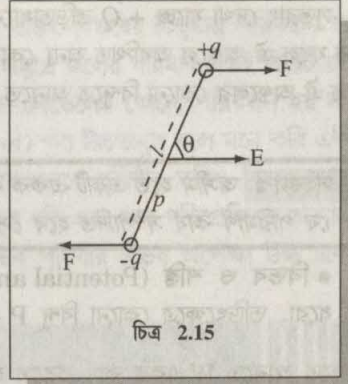
2.10.

সুষম তড়িৎক্ষেত্রে স্থাপিত তড়িৎ দ্বিমেরুর উপর ক্রিয়ারত টর্ক
(Torque on an electric dipole placed in an uniform electric field):

আমরা ইতিপূর্বে দেখেছি যে সমপরিমাণ কিন্তু বিপরীতধর্মী দুটি বিন্দু তড়িতাধান খুব কাছাকাছি থেকে একটি তড়িৎ দ্বিমেরু গঠন করে। $+q$ এবং $-q$ তড়িতাধানদ্বয় ক্ষুদ্র $2l$ দূরে থেকে যে তড়িৎ দ্বিমেরু গঠন করে, তার ভ্রামক $p = q \times 2l$

ধরি, একটি তড়িৎ-দ্বিমেরু E প্রাবল্যের একটি সুযম তড়িৎ ক্ষেত্রের সাথে θ কোণে অবস্থান করছে। তড়িৎ দ্বিমেরুর কোনো নিট আধান না থাকায় সুযম ক্ষেত্রে এর উপর কোনো নিট বল ক্রিয়া করে না। এর ওপর দ্বন্দ্ব ক্রিয়া করে। দুটি সমান ও বিপরীতমুখী বল F এবং F দ্বিমেরুর ওপর ক্রিয়া করবে [চিত্র 2.15]। তড়িতাধান দুটি আবদ্ধ বলে, সমান ও বিপরীত বল F এবং F দ্বিমেরুর ওপর একটি টর্ক (torque) প্রয়োগ করবে। স্পর্শ্যত $F = E.q$.

টর্কের মান $\tau = E.q (2l.\sin\theta) = (2lq) E \sin \theta = p. E \sin \theta$.



চিত্র 2.15

ভেক্টর অঙ্কপাতনে লেখা যায় $\vec{\tau} = \vec{p} \times \vec{E}$ অর্থাৎ

দ্বিমেরু ভ্রামক এবং ক্ষেত্র প্রাবল্যের ভেক্টর গুণফল হবে দ্বিমেরুর ওপর ক্রিয়ারত টর্কের মান। বলা বাহুল্য, টর্কের অভিমুখ হবে দ্বিমেরু ভ্রামকের অক্ষ এবং তড়িৎক্ষেত্র যে-তলে অবস্থিত তার অভিলম্ব।

2.11. তড়িৎ বিভব (Electric potential) :

যখন কোনো বস্তুকে ভূপৃষ্ঠ থেকে কিছু উপরে তোলা হয়, তখন ঐ বস্তু কিছু স্থিতিশক্তির অধিকারী হয়। অভিকর্ষের ফলে ভারী বস্তু উঁচু থেকে নীচু জায়গায় আসার চেষ্টা করে। আমরা বলি যে পৃথিবীর অভিকর্ষ ক্ষেত্রের ভিতরে থেকে ভূপৃষ্ঠ থেকে উচ্চতা অনুযায়ী ঐ দু-জায়গায় বিভিন্ন অভিকর্ষজনিত বিভব আছে। উচ্চ বিভবযুক্ত (অভিকর্ষজনিত) জায়গা থেকে নিম্ন বিভবযুক্ত জায়গায় স্থানান্তরিত হবার একটি স্বাভাবিক প্রবণতা বস্তুর থাকে।

অভিকর্ষ ক্ষেত্রের বিভবের মতো তড়িৎক্ষেত্রেরও বিভব আছে। একটি ধনাত্মক তড়িতাধান তার চতুর্দিকে যে তড়িৎক্ষেত্র সৃষ্টি করে সেই ক্ষেত্রের ভিতর আর একটি ধনাত্মক আধান আনলে দ্বিতীয় আধানটি প্রথম আধান হতে দূরে সরে যেতে চেষ্টা করে। বলা হয় প্রথম তড়িতাধানের চতুর্দিকের বিন্দুগুলির ‘তড়িৎ বিভব’ আছে।

কোনো অঞ্চলের তড়িৎক্ষেত্রকে যেমন ওই অঞ্চলের প্রতিটি বিন্দুতে ক্রিয়ারত ভেক্টর রাশি \vec{E} দ্বারা বর্ণনা করা যায় ঠিক তেমনি ওই ক্ষেত্রকে ওই অঞ্চলের প্রতি বিন্দুতে ক্রিয়ারত একটি স্কেলার রাশি V দ্বারাও বর্ণনা করা যায়। এই স্কেলার রাশিই হল তড়িৎবিভব।

2.12. তড়িৎক্ষেত্রের কোনো বিন্দুতে বিভব (Potential at a point in an electric field) :

মনে করো, আমাদের একটি $+q_1$ তড়িতাধান আছে এবং তার চতুর্দিকে অন্য কোনো তড়িতাধান বা কোনো বস্তু নেই—অর্থাৎ, ঐ তড়িতাধানটি সর্ববাহ্যমুক্ত। এই অবস্থায় তাকে সরিয়ে অন্য কোনো স্থানে রাখতে কোনো কার্য করার প্রয়োজন হবে না, কারণ তার ওপর কোনো বল ক্রিয়া করে না।

এইবার মনে করো, উপরিউক্ত $+q_1$ তড়িতাধান আনার পূর্বে ঐ অঞ্চলের কোনো বিন্দু P-তে $+Q$ তড়িতাধান রাখা আছে। এইবার $+q_1$ আধানকে ঐ অঞ্চলে এনে এক স্থান থেকে অন্য স্থানে সরাতে হলে কার্য করার প্রয়োজন হবে, কারণ q_1 তড়িতাধানটি সর্বদা $+Q$ তড়িতাধান কর্তৃক বিকর্ষণ বল অনুভব করবে। যদি $+q_1$ আধানকে $+Q$ আধানের নিকটে আনার চেষ্টা করা হয় তাহলে বিকর্ষণ বলের বিরুদ্ধে কার্য করতে হবে; আর $+Q$ আধান হতে দূরে সরিয়ে নেবার চেষ্টা করলে বিকর্ষণ বল নিজেই কার্য করবে। তড়িতাধান দুটি ঋণাত্মক অথবা একটি ঋণাত্মক ও অপরটি ধনাত্মক হলেও এই ধরনের কার্য করার প্রয়োজন হবে।

সুতরাং দেখা যাচ্ছে + Q তড়িতাধানের অবস্থিতির ফলে তার চতুর্দিকস্থ অঞ্চল এমন একটি ধর্ম পায় যার ফলে ঐ অঞ্চলে অবস্থিত অন্য কোনো তড়িতাধানকে এক স্থান হতে অন্য স্থানে সরাতে বা বহুদূর হতে ঐ অঞ্চলের কোনো বিন্দুতে আনতে সর্বদা কার্য করার প্রয়োজন হয়। এই ধর্মকেই তড়িৎ বিভব বলা হয়।

সংজ্ঞা : অসীম হতে একটি একক ধনাত্মক তড়িতাধানকে তড়িৎক্ষেত্রের কোনো বিন্দুতে আনতে যে পরিমাণ কার্য সম্পাদিত হবে সেটাই হবে ঐ বিন্দুর তড়িৎ বিভব।

• বিভব ও শক্তি (Potential and Energy):

ধরো, তড়িৎক্ষেত্রে কোনো বিন্দু P -এর বিভব V এবং বহুদূর হতে $+q$ একক তড়িতাধানকে ঐ বিন্দুতে আনতে W একক কার্য করতে হল। এক্ষেত্রে, $V = \frac{W}{q}$ অথবা, $W = V \times q$

অর্থাৎ সম্পাদিত কার্য = বিভব \times তড়িতাধান।

যদি বিভব ও তড়িতাধানকে ই.এস.ইউ. একক-এ প্রকাশ করা হয় তাহলে কার্যকে ‘আর্গ’ একক-এ প্রকাশ করতে হবে। আর বিভব ‘ভোল্ট’ এককে এবং তড়িতাধান ‘কুলম্ব’ এককে (অর্থাৎ এস. আই. পদ্ধতিতে) প্রকাশ করা হলে, কার্যকে ‘জুল’ এককে প্রকাশ করতে হবে। উপরোক্ত কার্য $+q$ তড়িতাধানে তড়িৎ স্থিতিশক্তি (electric potential energy) রূপে সঞ্চিত থাকে।

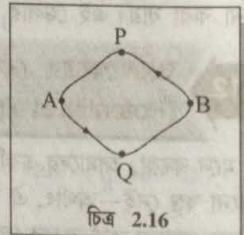
• দুই বিন্দুর বিভব-পার্থক্য :

বিভবের উপরিউক্ত সংজ্ঞা অনুযায়ী, A এবং B বিন্দুদ্বয়ের ভিতর বিভব পার্থক্য $= B$ বিন্দু হতে A বিন্দুতে একটি একক ধনাত্মক আধান স্থানান্তরিত করতে যে কার্য সম্পাদিত হয় তার সমান। অর্থাৎ V_B

$-V_A = \frac{W_{AB}}{q}$; W_{AB} ধনাত্মক হলে, $V_B > V_A$; W_{AB} ঋণাত্মক হলে $V_B < V_A$ এবং W_{AB} শূন্য হলে $V_A = V_B$.

• বিভব-পার্থক্য পথের (path) ওপর নির্ভর করে না :

এখানে লক্ষ করা প্রয়োজন যে, ধনাত্মক আধানকে B হতে A বিন্দুতে কোন্ পথে স্থানান্তরিত করতে হবে তার কোনো উল্লেখ নেই। প্রকৃতপক্ষে B বিন্দু হতে A বিন্দুতে একক ধনাত্মক আধানকে স্থানান্তরিত করতে যে কার্য সম্পন্ন হবে তা পথের ওপর নির্ভর করে না; ঠিক যেমন, পাহাড়ের চূড়ায় উঠতে যে কার্য প্রয়োজন তা কোন্ পথে যাওয়া হল তার উপর নির্ভর করে না। এরূপ না হলে, হয়ত P বিন্দুর ভিতর দিয়ে একক আধানকে B বিন্দু হতে A বিন্দুতে (চিত্র 2.16) নিয়ে গেলে কৃতকার্য এবং Q বিন্দুর ভিতর দিয়ে আবার B বিন্দুতে ফিরিয়ে আনলে কৃতকার্য অসমান হত এবং উদ্ভূত কার্য প্রয়োগ করে অনন্ত গতিযন্ত্র (perpetual motion machine) উদ্ভাবন করা যেত। কিন্তু বাস্তবক্ষেত্রে তা সম্ভব নয়। দুটি বিন্দুর ভিতর বিভব পার্থক্য তাদের ভিতর সম্ভাব্য বিভিন্ন ধরনের পথের উপর নির্ভর করে না—এটা বিভবের একটি গুরুত্বপূর্ণ ধর্ম। এই ধর্ম অনুযায়ী বলা যেতে পারে যে স্থির তড়িৎক্ষেত্রে $BPAQB$ -এর মতো কোনো বন্ধ পথে কোনো তড়িতাধানকে ঘুরিয়ে আনলে কৃতকার্য হবে শূন্য। কাজেই অভিকর্ষ বলের ন্যায় তড়িৎবলও সংরক্ষী (conservative) বল।



চিত্র 2.16

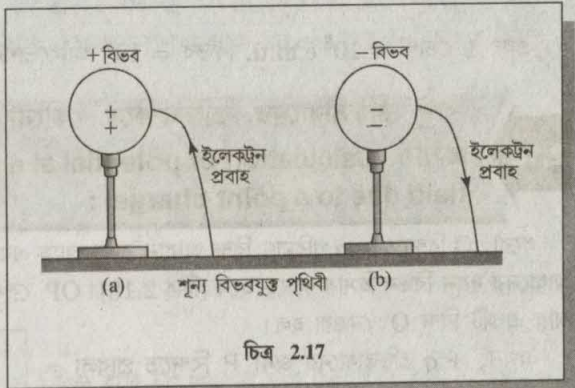
2.13. পৃথিবীর বিভব শূন্য (The earth has zero potential) :

পৃথিবী নিজে একটি তড়িৎ পরিবাহী। প্রতিনিয়ত বিভিন্ন সূত্র হতে পৃথিবী নিজে তড়িতাধান লাভ করে; আবার, বিভিন্ন সূত্রে তড়িতাধান সরবরাহও করে। অর্থাৎ, প্রতিনিয়ত পৃথিবীর পক্ষে তড়িতাধানের

লাভ ও লোকসান ঘটে। কিন্তু এই লাভ বা লোকসান প্রায় সমান; তাছাড়া পৃথিবীর আকার এত বিরাট যে সামান্য তড়িৎআধান লাভ করলে বা লোকসান ঘটলে পৃথিবীর তড়িৎ-বিভবের কিছুমাত্র পরিবর্তন হয় না। এ সম্পর্কে সমুদ্রজলের লেভেলের তুলনা করা যেতে পারে। সমুদ্রে জলের পরিমাণ এতই বিরাট যে, সমুদ্র হতে সামান্য জল তুলে নিলে বা সামান্য জল ঢাললে সমুদ্র-লেভেলের কোনো পরিবর্তন হয় না। এই কারণে উচ্চতা নির্ণয়ে আমরা সর্বদা সমুদ্র সমতলকে (sea level) শূন্য উচ্চতায়ুক্ত বলে মনে করি এবং তার পরিপ্রেক্ষিতে অন্যান্য উচ্চতা পরিমাপ করি। ঠিক একই রকমভাবে পৃথিবীর তড়িৎ-বিভব সর্বদা অপরিবর্তিত থাকে বলে পরিমাপের ক্ষেত্রে পৃথিবীকে শূন্য বিভবযুক্ত ধরি এবং তার পরিপ্রেক্ষিতে অন্যান্য বস্তুর বিভব পরিমাপ করি। কোনো ধনাত্মক বিভবযুক্ত বস্তুর বিভব পৃথিবীর বিভব অপেক্ষা উচ্চ এবং ঋণাত্মক বিভবযুক্ত বস্তুর বিভব পৃথিবীর বিভব অপেক্ষা নিম্ন।

2.14. তড়িতাহিত পরিবাহীর বিভব (Potential of a charged conductor):

তড়িতাহিত পরিবাহীকে পরিবাহী তার দিয়ে ভূ-সংলগ্ন করলে যদি ইলেকট্রন ভূমি হতে তড়িতাহিত বস্তুতে চলে আসে, তবে ঐ বস্তুর বিভব ধনাত্মক [চিত্র 2.17 (a)]। বিপরীতক্রমে, যদি ইলেকট্রন তড়িতাহিত বস্তু হতে ভূমিতে চলে যায় তবে ঐ বস্তুর বিভব ঋণাত্মক [চিত্র 2.17(b)]। বলা বাহুল্য, এই সংজ্ঞায় পৃথিবীকে শূন্য-বিভবযুক্ত ধরা হয়েছে। পরিবাহীর বিভব ধনাত্মক হলে, ভূসংলগ্ন করার ফলে, ইলেকট্রন ভূমি হতে বস্তুতে প্রবাহিত হয়ে পরিবাহীর ইলেকট্রন ঘাটতি পূরণ করবে এবং বিভব শূন্য করবে; আবার বস্তুর বিভব ঋণাত্মক হলে, পরিবাহী হতে ভূমিতে উদ্ভূত ইলেকট্রনের প্রবাহ হয়ে বস্তুর ইলেকট্রন-আধিক্য হ্রাস করবে এবং বিভব শূন্য করবে। এইজন্য বলা হয় যে, যে-কোনো প্রকার তড়িৎগ্রস্ত বস্তুকে পৃথিবীর সাথে যুক্ত করলে, ঐ বস্তুর বিভব শূন্য হয়।



কোনো তড়িতাহিত বস্তুর বিভব পরিমাপ করতে হলে একটি একক ধনাত্মক তড়িতাধানকে বহুদূর হতে ঐ বস্তুর খুব নিকটে আনতে হবে এবং তার জন্য যে কার্য সম্পাদিত হবে অথবা বস্তুতে যে-পরিমাণ স্থিতিশক্তি সঞ্চিত হবে সেটাই হবে ঐ বস্তুর তড়িৎবিভবের পরিমাপ।

সংজ্ঞা : অসীম হতে একক ধনাত্মক আধানকে কোনো তড়িতাহিত বস্তুর খুব নিকটে আনতে যে কার্য সম্পাদিত হয় তাকে তড়িতাহিত বস্তুর তড়িৎবিভব বলা হয়।

যদি বস্তুর তড়িতাধান Q ধনাত্মক হয়, তবে একক ধনাত্মক আধানকে বস্তুর নিকটে আনলে, বস্তুতে শক্তি সঞ্চিত হবে এবং সেক্ষেত্রে বিভব V ধনাত্মক; আর যদি Q ঋণাত্মক হয়, তবে একক ধনাত্মক আধানকে বস্তুর নিকটে আনলে, বস্তু শক্তি নির্গত করবে এবং সেক্ষেত্রে বস্তুর বিভব V হবে ঋণাত্মক।

2.15. বিভবের একক (Units of potential):

অসীম হতে 1 e.s.u. ধনাত্মক আধানকে তড়িৎক্ষেত্রের কোনো বিন্দুতে আনলে যদি সম্পাদিত কার্য 1 erg হয়, তবে ঐ বিন্দুর বিভবকে 1 e.s.u. বিভব বলে। একে অনেক সময় স্ট্যাটভোল্ট (statvolt)-ও বলা হয়।

অসীম হতে 1 e.m.u. ধনাত্মক আধানকে তড়িৎক্ষেত্রের কোনো বিন্দুতে আনলে যদি সম্পাদিত কার্য 1 erg হয়, তবে ঐ বিন্দুর বিভবকে 1 e.m.u. বিভব বলে। একে অনেক সময় অ্যাবভোল্ট (abvolt) -ও বলা হয়।

যেহেতু 1 e.m.u. তড়িৎআধান = 3×10^{10} e.s.u. তড়িৎআধান এবং যেহেতু দুই ক্ষেত্রে একই পরিমাণ কার্য সম্পাদিত হয়, সেইহেতু 1 e.m.u. বিভব = $\frac{1}{3 \times 10^{10}}$ e.s.u. বিভব।

অথবা, 1 e.s.u. বিভব = 3×10^{10} e.m.u. বিভব।

বিভবের ব্যবহারিক এককের নাম ভোল্ট (volt)। অসীম হতে 1 coulomb ধনাত্মক তড়িৎআধানকে তড়িৎক্ষেত্রের কোন বিন্দুতে আনলে যদি সম্পাদিত কার্য 1 joule হয়, তবে ঐ বিন্দুর বিভবকে 1 ভোল্ট বলা হয়। এস. আই. পদ্ধতিতে বিভবের একক ভোল্ট। মনে রাখবে,

$$1 \text{ ভোল্ট} = \frac{1 \text{ জুল}}{1 \text{ কুলম্ব}} = \frac{10^7 \text{ erg}}{3 \times 10^9 \text{ e.s.u.}} = \frac{1}{300} \times \frac{1 \text{ erg}}{1 \text{ e.s.u. আধান}} = \frac{1}{300} \text{ e.s.u. বিভব}$$

$$= \frac{1}{300} \text{ স্ট্যাটভোল্ট}$$

এবং 1 ভোল্ট = 10^8 e.m.u. বিভব = 10^8 অ্যাবভোল্ট।

2.16.

বিন্দু তড়িৎআধানের তড়িৎক্ষেত্রে কোনো বিন্দুর বিভবের হিসাব (Calculation of potential at a point in an electric field due to a point charge):

ধরো, O বিন্দুতে +q পরিমাণ বিন্দু আধান রাখা আছে এবং ঐ আধান থেকে r দূরে P বিন্দুতে ঐ আধানের দরুন বিভব হিসাব করতে হবে [চিত্র 2.18]। OP রেখার উপর P বিন্দু থেকে সামান্য dr দূরে আর একটি বিন্দু Q নেওয়া হল।

এখন, +q তড়িৎআধানের জন্য P বিন্দুতে প্রাবল্য =

$$\frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{q}{r^2} \text{ এবং এর অভিমুখ } \vec{OP} \text{ বরাবর। P এবং Q}$$

খুব কাছাকাছি বিন্দু হওয়ায় আমরা মনে করতে পারি যে ঐ

$$\text{বিন্দুদ্বয়ের ভিতর সর্বত্র ক্ষেত্র-প্রাবল্য} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{q}{r^2}.$$

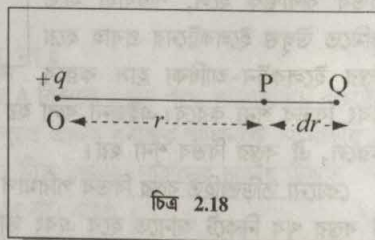
P এবং Q বিন্দুদ্বয়ের ভিতর বিভব-পার্থক্য dV হলে সংজ্ঞা অনুযায়ী, dV = একক পজিটিভ তড়িৎআধানকে Q থেকে P বিন্দুতে আনতে যে-কার্য করা হয় তা = একক তড়িৎআধানের ওপর বল ×

$$Q \text{ থেকে P পর্যন্ত সরণ} = -\frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{q}{r^2} \cdot dr \text{ [নেগেটিভ চিহ্ন নেওয়া হল কারণ প্রাবল্য ও সরণ বিপরীতমুখী]}$$

এখন, অসীম থেকে r -এই সীমার মধ্যে উপরোক্ত রাশিমালাকে ইন্টিগ্রেট করলে আমরা P বিন্দুর বিভব (V) পাব। অর্থাৎ

$$V = -\int_{\infty}^r \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{q}{r^2} \cdot dr = -\frac{q}{4\pi\epsilon_0} \cdot \int_{\infty}^r \frac{1}{r^2} \cdot dr = -\frac{q}{4\pi\epsilon_0} \left[-\frac{1}{r} \right]_{\infty}^r = \frac{q}{4\pi\epsilon_0 r}$$

$$\left[\because \frac{1}{\infty} = 0 \right]$$



q কুলম্ব এককে এবং r মিটার এককে প্রকাশ করতে হবে। V এর একক হবে ভোল্ট।

cgs পদ্ধতিতে $4\pi\epsilon_0 = 1$; কাজেই ঐ পদ্ধতিতে $V = \frac{q}{r}$.

বিভব স্কেলার রাশি :

উল্লেখযোগ্য যে বিভব ভেক্টর রাশি নয়; এটা স্কেলার রাশি। সুতরাং একাধিক ধনাত্মক ও ঋণাত্মক তড়িতাধানের জন্য কোনো বিন্দুতে বিভব নির্ণয় করতে হলে আমরা প্রতিটি আধানের জন্য পৃথকভাবে বিভব নির্ণয় করে বীজগাণিতিক সমষ্টির সাহায্যে ঐ বিন্দুর মোট বিভব পেতে পারি।

মনে করো, কোনো বিন্দু P হতে r_1, r_2, r_3 প্রভৃতি দূরত্বে যথাক্রমে $+q_1, +q_2, -q_3$ ইত্যাদি তড়িতাধান রাখা আছে। তাহলে P বিন্দুর মোট বিভব

$$V = \frac{q_1}{4\pi\epsilon_0 r_1} + \frac{q_2}{4\pi\epsilon_0 r_2} - \frac{q_3}{4\pi\epsilon_0 r_3} \dots \dots = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \sum \frac{q_i}{r_i}.$$

□ EXAMPLES □

1. 80 e.s.u. সম্পন্ন $+q$ তড়িতাধান থেকে 10 cm দূরবর্তী A বিন্দুতে -10 e.s.u. একটি তড়িতাধান রাখা আছে। একে q তড়িতাধান থেকে 20 cm দূরে B বিন্দুতে নিতে কত কার্য করতে হবে?

উঃ। q তড়িতাধান থেকে r দূরে কোনো বিন্দুতে বিভব $V = \frac{q}{r} = \frac{\text{আধান}}{\text{দূরত্ব}}$ (cgs পদ্ধতি)

অতএব, A বিন্দুর বিভব V_A ধরলে $V_A = \frac{80}{10} = 8$ e.s.u.

এবং B " " V_B " $V_B = \frac{80}{20} = 4$ e.s.u.

$\therefore V_A - V_B = (8 - 4) = 4$ e.s.u.

কাজেই, -10 e.s.u. তড়িতাধান A বিন্দু হতে B বিন্দুতে নিলে সম্পাদিত কার্য $= (V_A - V_B) \times 10 = 4 \times 10 = 40$ erg। q তড়িতাধানের আকর্ষণের বিরুদ্ধে এই কাজ করতে হল বলে এই কার্য ধনাত্মক।

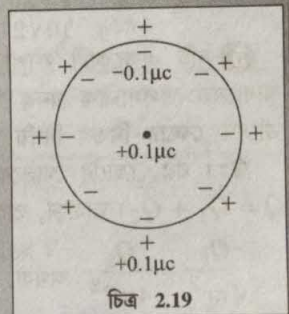
2. একটি ধাতুখণ্ডকে $0.1 \mu\text{C}$ তড়িতাধান দিয়ে 0.2 m ব্যাসার্ধের ফাঁপা ধাতব গোলকের কেন্দ্রে বসানো হল। গোলকের বিভব কত হবে? নিম্নলিখিত ক্ষেত্রে গোলকের বিভব কি হবে (i) গোলককে কিছুক্ষণের জন্য ভূ-সংলগ্ন করে পরে অন্তরিত রাখা হল (ii) ধাতুখণ্ডকে গোলকের অভ্যন্তরীণ পৃষ্ঠের সাথে স্পর্শ করানো হল।

উঃ। আবেশের দরুন গোলকের ভিতরের পৃষ্ঠে $-0.1 \mu\text{C}$ এবং বাইরের পৃষ্ঠে $+0.1 \mu\text{C}$ আধান অবিস্ট হবে। পৃথিবীর সাপেক্ষে গোলকের বিভব (V) গোলকের বাইরের পৃষ্ঠের আধান q দ্বারা নির্ধারিত হবে।

$$\therefore V = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{q}{r} = 9 \times 10^9 \times \frac{0.1 \times 10^{-6}}{0.2} \text{ volt}$$

$$= 4500 \text{ volt}$$

(i) গোলক-কে মুহূর্তের জন্য ভূ-সংলগ্ন করলে, বাইরের পৃষ্ঠের মুক্ত অবিস্ট আধান পৃথিবীতে চলে যাবে। ফলে গোলকের বিভব হবে



শূন্য। লক্ষ্য করো গোলকের ভিতরের পৃষ্ঠের বন্ধ আবিষ্ট আধানের কোনো পরিবর্তন হল না।

(ii) ধাতুখণ্ডকে গোলকের অভ্যন্তরীণ পৃষ্ঠের সাথে স্পর্শ করলে, গোলকের অভ্যন্তরীণ পৃষ্ঠের ঋণাত্মক আবিষ্ট আধান প্রশমিত হবে। ফলে গোলক ও ধাতুখণ্ড—উভয়ই তড়িৎবিহীন হবে। বলা বাহুল্য, এই অবস্থায় উভয়ের বিভব-ই হবে শূন্য।

৩. 12 এবং 8 মাইক্রো-কুলম্বের দুটি ধনাত্মক বিন্দু আধান পরস্পর হতে 10 cm দূরে অবস্থিত। এদের পরস্পরের দিকে 4 cm এগিয়ে আনতে কত কার্য করা দরকার?

উঃ। মনে করো, 12 μC আধানকে স্থির রেখে 8 μC আধানকে 4 cm এগিয়ে আনা হল। তাদের বর্তমান পারস্পরিক দূরত্ব = 6 cm; এই অবস্থানে বিভব-পার্থক্য

$$V = \frac{Q}{4\pi\epsilon_0} \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right) = \frac{12 \times 10^{-6}}{4\pi\epsilon_0} \left(\frac{1}{0.06} - \frac{1}{0.1} \right)$$

$$= 12 \times 10^{-6} \times 9 \times 10^9 \times \frac{20}{3} \text{ volt} = 72 \times 10^4 \text{ volt}$$

অতএব, 8 μC আধানকে স্থানান্তরণের জন্য কৃতকার্য

$$W = \text{তড়িৎআধান} \times \text{বিভব-পার্থক্য} = (8 \times 10^{-6}) \times (72 \times 10^4) = 5.76 \text{ joule.}$$

৪. 10 cm বাহুবিশিষ্ট একটি বর্গক্ষেত্রের চারটি কোণের প্রত্যেকটিতে 20 coulomb ধনাত্মক আধান আছে। বর্গক্ষেত্রের কর্ণদ্বয়ের ছেদবিন্দুতে তড়িৎক্ষেত্র প্রাবল্য ও তড়িৎ বিভব নির্ণয় করো।

উঃ। ABCD বর্গক্ষেত্র এবং O কর্ণদ্বয়ের ছেদবিন্দু [চিত্র 2.20]। $AO = BO = CO = DO =$

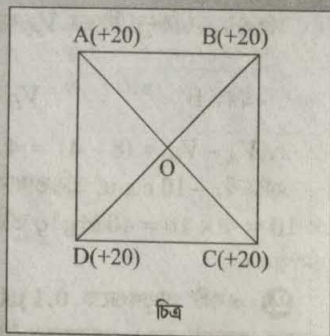
$$\frac{10}{\sqrt{2}} = 5\sqrt{2} \text{ cm.} = \frac{1}{10\sqrt{2}} \text{ m}$$

প্রতি বিপরীত কোণিক বিন্দুতে সমান ধনাত্মক আধান থাকায় এবং $AO = OB = OC = OD$ হওয়ায় A এবং C বিন্দুস্থিত ধনাত্মক আধানদ্বয় O বিন্দুতে সমান কিন্তু বিপরীত প্রাবল্য সৃষ্টি করবে। অনুরূপভাবে B এবং D বিন্দুস্থিত ধনাত্মক আধান দুটিও O বিন্দুতে সমান ও বিপরীত প্রাবল্য সৃষ্টি করবে। ফলে, O বিন্দুতে লক্ষ প্রাবল্য হবে শূন্য।

আবার, তড়িৎ বিভব স্কেলার রাশি হওয়ায়, O বিন্দুতে বিভব

$$V = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \left(\frac{20}{AO} + \frac{20}{OB} + \frac{20}{CO} + \frac{20}{DO} \right)$$

$$= \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{4 \times 20}{10\sqrt{2}} = 50.9 \times 10^9 \text{ volt}$$



৫. দুটি এককেন্দ্রী ফাঁপা গোলকে Q তড়িৎআধান এরূপভাবে বণ্টিত হল যে তাদের আধানের তলমাত্রিক ঘনত্ব সমান হল। গোলকদ্বয়ের ব্যাসার্ধ r এবং R হলে ($R > r$) তাদের কেন্দ্রে বিভব নির্ণয় করো।

উঃ। ধর, ছোটো গোলকে Q_1 এবং বড়ো গোলকে Q_2 তড়িৎআধান আছে। এই অবস্থায় $Q = Q_1 + Q_2$ । তাছাড়া, তাদের আধানের তলমাত্রিক ঘনত্ব সমান হওয়ায়,

$$\frac{Q_1}{4\pi r^2} = \frac{Q_2}{4\pi R^2} \text{ অথবা, } \frac{Q_1}{Q_2} = \frac{r^2}{R^2} \text{ অথবা, } \frac{Q_1 + Q_2}{Q_2} = \frac{r^2 + R^2}{R^2}$$

$$\therefore Q_2 = \frac{R^2}{(r^2 + R^2)} \cdot (Q_1 + Q_2) = \frac{R^2}{r^2 + R^2} \cdot Q; \text{ অনুরূপভাবে, } Q_1 = \frac{r^2}{r^2 + R^2} \cdot Q$$

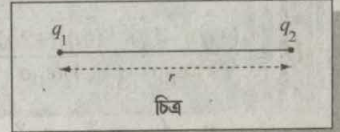
$$\text{এখন, কেন্দ্রবিন্দুতে বিভব } V = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \left(\frac{Q_1}{r} + \frac{Q_2}{R} \right)$$

$$= \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \left[\frac{r^2 Q}{(r^2 + R^2)r} + \frac{R^2 Q}{(r^2 + R^2)R} \right] = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \times \frac{Q(r+R)}{r^2 + R^2}$$

2.17.

কয়েকটি তড়িতাধান সমন্বিত সংস্থার তড়িৎ স্থিতিশক্তি (Electric potential energy of a system consisting of a number of charges):

‘কার্য ও শক্তি’ পরিচ্ছেদে (পদার্থ বিজ্ঞান পরিচয়, প্রথম ভাগ) আমরা দেখেছি যে—কোনো বস্তুকে ভূপৃষ্ঠ হতে কিছু উঁচুতে তুলতে কিছু কার্য করতে হয় এবং এই কার্য বস্তু এবং পৃথিবীর স্থিতিশক্তিরূপে সঞ্চিত থাকে। বস্তুটিকে ছেড়ে দিলে, তার সঞ্চিত স্থিতিশক্তি ভূপৃষ্ঠে পড়ার সময় ধীরে ধীরে গতিশক্তিতে পরিণত হয়। বস্তুটি ভূপৃষ্ঠে পড়ে স্থিরাবস্থায় এলে মাটি স্পর্শ করার পূর্ব মুহূর্তে তার যে গতিশক্তি উৎপন্ন হয় (যা বস্তুটির সঞ্চিত স্থিতিশক্তির সমান) তা তাপশক্তিতে রূপান্তরিত হয়ে বস্তু এবং পৃথিবীতে আবদ্ধ থাকে।



স্থিরতড়িৎ বিজ্ঞানেও অনুরূপ ঘটনা ঘটে। মনে কর, q_1 এবং q_2 দুটি তড়িতাধান পরস্পর হতে r দূরে আছে (চিত্র 2.21)। যদি তড়িতাধান দুটি বিপরীত ধরনের হয় তবে তাদের পারস্পরিক দূরত্ব বৃদ্ধি করতে হলে কিছু কাজ করতে হবে এবং এই কার্য হবে ধনাত্মক। তড়িতাধান দুটি সমধর্মী হলে তারা নিজেরাই বিকর্ষণ বলের দ্বারা দূরত্ব বৃদ্ধি করে এই কার্য সম্পন্ন করবে এবং তা হবে ঋণাত্মক। এই কার্যের পরিণাম কি হবে? কৃতকার্য ($q_1 + q_2$) তড়িতাধান সংস্থার তড়িৎ স্থিতিশক্তিরূপে সঞ্চিত থাকবে। অন্যান্য শক্তির মতো এই তড়িৎ স্থিতিশক্তিরও রূপান্তর সম্ভব। যেমন, q_1 এবং q_2 যদি বিপরীতধর্মী আধান হয় তবে তাদের ছেড়ে দিলে, তারা পরস্পরের দিকে বেগে অগ্রসর হবে এবং তড়িৎ স্থিতিশক্তি আধান দুটির গতিশক্তিতে রূপান্তরিত হবে। সুতরাং দেখা যাচ্ছে যে, তড়িতাধান দুটির শক্তির সাথে বস্তু ও পৃথিবীর যুক্ত সংস্থার অভিকর্ষীয় শক্তির যথেষ্ট সাদৃশ্য আছে। একমাত্র তফাত এই যে তড়িৎ বল আকর্ষক বা বিকর্ষক হতে পারে কিন্তু মহাকর্ষ বল একমাত্র আকর্ষক বল।

কয়েকটি বিন্দু তড়িতাধান সমন্বিত সংস্থার তড়িৎ স্থিতিশক্তির সংজ্ঞা নিম্নলিখিতরূপে দেওয়া যেতে পারে :

সংজ্ঞা : কতকগুলি বিন্দু তড়িতাধানকে অসীম দূরত্বে হতে কোনো বিন্দুতে এনে সংস্থা (system) গঠন করতে মোট যে কার্যের প্রয়োজন হবে তাই হবে এই তড়িতাধান সংস্থার তড়িৎ স্থিতিশক্তি।

ধরো, q_2 তড়িতাধানকে তার অবস্থান হতে অসীম দূরত্বে নিয়ে স্থির রাখা হল। এখন, q_1

তড়িতাধানের দরুন q_2 তড়িতাধানের পূর্ব অবস্থানে—অর্থাৎ, r দূরে—বিভব $V = \frac{q_1}{4\pi\epsilon_0 \cdot r}$; এখন, q_2

তড়িতাধানকে যদি অসীম দূরত্বে হতে পূর্বোক্ত r দূরত্বে আনা যায় তবে তড়িৎ বিভবের সংজ্ঞা হতে বলা যায়, কৃতকার্য $W = V \times q_2$.

বলা বাহুল্য, উপরোক্ত কৃতকার্য $(q_1 + q_2)$ তড়িতাধান সংস্থার তড়িৎ স্থিতিশক্তিৰূপে সঞ্চিত হবে।

অতএব, তড়িৎ স্থিতিশক্তি $U = W = V \times q_2 = \frac{q_1 q_2}{4\pi\epsilon_0 \cdot r}$.

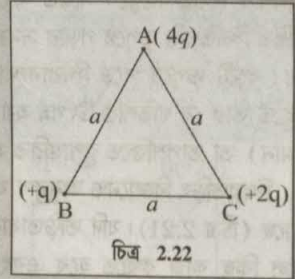
সংস্থায় একাধিক তড়িতাধান থাকলে, প্রতি দুটি তড়িতাধানের ক্ষেত্রে উপরোক্ত প্রক্রিয়া অবলম্বন করে তাদের তড়িৎ স্থিতিশক্তি নির্ণয় করতে হবে; অতঃপর ঐ স্থিতিশক্তিগুলির বীজগাণিতিক সমষ্টি নির্ধারণ করতে হবে। সমগ্র প্রক্রিয়াকে আমরা এভাবে কল্পনা করতে পারি: (i) প্রথমে q_1 তড়িতাধানকে তার অবস্থানে বসানো হল, (ii) q_2 তড়িতাধানকে অসীম হতে q_1 তড়িতাধানের নিকটবর্তী অবস্থানবিন্দুতে আনা হল, (iii) তারপর q_3 তড়িতাধানকে অসীম হতে q_1 এবং q_2 নিকটবর্তী অবস্থান-বিন্দুতে আনা হল, ইত্যাদি।

□ EXAMPLE □

বায়ু মধ্যে একটি সমবাহু ত্রিভুজের A, B এবং C শীর্ষবিন্দুতে যথাক্রমে $-4q$, $+q$ এবং $+2q$ তড়িতাধান রাখা আছে। ঐ সংস্থার তড়িৎ স্থিতিশক্তি নির্ণয় করো। $q = 3 \times 10^2$ coulomb এবং $a = 10$ m.

উঃ। মোট স্থিতিশক্তি প্রতি জোড়া তড়িতাধানের স্থিতিশক্তিগুলির বীজগাণিতিক সমষ্টি।

$$\begin{aligned} U &= \frac{(+q)(-4q)}{4\pi\epsilon_0 a} + \frac{(+q)(+2q)}{4\pi\epsilon_0 a} + \frac{(-4q)(+2q)}{4\pi\epsilon_0 a} \\ &= \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \left(-\frac{4q^2}{a} + \frac{2q^2}{a} - \frac{8q^2}{a} \right) \\ &= \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \left(-\frac{10q^2}{a} \right) = -\frac{10 \times (3 \times 10^2)^2}{10} \\ &= -81 \times 10^{13} \text{ joule} \end{aligned}$$

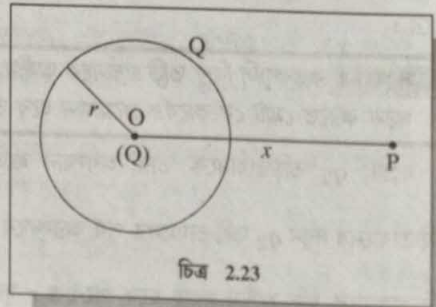


চিত্র 2.22

ঋণাত্মক চিহ্ন বোঝায় যে তড়িতাধানগুলিকে A, B এবং C বিন্দু হতে সরিয়ে অসীম দূরত্বে নিতে 81×10^{13} joule কার্য করতে হবে।

2.18. সুষমভাবে তড়িতাহিত গোলকের দ্বারা তড়িৎ প্রাবল্য ও তড়িৎ বিভব (Electric intensity and potential due to a uniformly charged sphere) :

এ পর্যন্ত আমরা বিন্দু তড়িতাধানের (point charge) জন্য তড়িৎ বিভব এবং প্রাবল্য আলোচনা করেছি। কিন্তু সসীম আকারের কোনো পরিবাহীকে তড়িতাহিত করলে তার জন্য তড়িৎ বিভব অথবা প্রাবল্য নির্ণয় জটিল হয়ে পড়ে। তবে, পরিবাহী গোলক হলে, নির্ণয় পদ্ধতি সহজ হয় কারণ প্রমাণ করা যায় যে গোলকের পৃষ্ঠে অথবা গোলকের বাইরের কোনো বিন্দুতে প্রাবল্য অথবা বিভব এমন হয় যেন পরিবাহীর সমস্ত আধান গোলকের কেন্দ্রবিন্দুতে একত্রীভূত করা আছে।



চিত্র 2.23

ধরো, আমরা r ব্যাসার্ধের একটি গোলীয় পরিবাহীকে Q একক তড়িতাধানে আহিত করলাম [চিত্র 2.23]। গোলকের কেন্দ্র O হতে x দূরে P একটি বিন্দু। P বিন্দুতে তড়িৎ প্রাবল্য অথবা বিভব নির্ণয় করতে আমরা মনে করব যে গোলকের আধান Q গোলকের পৃষ্ঠে ছড়ানো নেই— গোলকের কেন্দ্র বিন্দুতে জমা করা আছে।

এখন, O বিন্দুতে অবস্থিত উক্ত Q বিন্দু তড়িতাধানের জন্য x দূরে P বিন্দুতে প্রাবল্য = $\frac{Q}{4\pi\epsilon_0 x^2}$ এবং বিভব = $\frac{Q}{4\pi\epsilon_0 x}$
যদি $x = r$ হয়, তবে, গোলকের পৃষ্ঠে তড়িৎ প্রাবল্য = $\frac{Q}{4\pi\epsilon_0 r^2}$ এবং তড়িৎ বিভব = $\frac{Q}{4\pi\epsilon_0 r}$

এটাও প্রমাণ করা যায় যে পরিবাহী গোলকের অভ্যন্তরে সর্বত্র তড়িৎ বিভব সমান এবং তা গোলকের পৃষ্ঠের বিভবের সমান অর্থাৎ $\frac{Q}{4\pi\epsilon_0 r}$ -এর সমান। গোলকের অভ্যন্তরে সর্বত্র বিভব সমান হওয়ায় অভ্যন্তরে তড়িৎ প্রাবল্য শূন্য।

সমবিভব তল : তড়িতাহিত পরিবাহীর পৃষ্ঠ সমবিভবযুক্ত

2.19.

(Equipotential surface : surface of a charged conductor is equipotential) :

ইতিপূর্বে আমরা দেখেছি যে ভূপৃষ্ঠের সর্বত্র বিভব সমান (শূন্য) কারণ ভূপৃষ্ঠ একটি তড়িৎ-পরিবাহী। তড়িৎ-পরিবাহীর পৃষ্ঠে বিভব-প্রভেদ থাকা সম্ভব নয় কারণ বিভব-প্রভেদের নতিমাত্রা (gradient) থাকলে পৃষ্ঠে একটি তড়িৎ ক্ষেত্র কাজ করবে এবং পৃষ্ঠের ইলেকট্রনগুলি ঐ তড়িৎ-ক্ষেত্রের প্রভাবে নিজেদের এরূপভাবে পুনর্বিন্টন করবে যাতে তড়িৎ-ক্ষেত্র লোপ পায়। পরিবাহীর মোট আধান ধনাত্মক কি ঋণাত্মক হোক কিংবা পরিবাহী তড়িৎবিহীন হোক অথবা অন্য কোনো বস্তুর সাপেক্ষে পরিবাহীর প্রকৃত বিভব যাই হোক না কেন, সর্বক্ষেত্রে পৃষ্ঠের বিভব সর্বত্র সমান হবে।

সংজ্ঞা : কোনো তল বা আয়তন যদি এরূপ হয় যে তার পৃষ্ঠে বিভব সর্বত্র সমান, তবে ঐ তল বা আয়তনকে সমবিভব তল বা আয়তন বলা হয়।

ঐ তল বা আয়তন কোনো বস্তুর তল বা আয়তন হতে পারে; আবার শূন্য দেশস্থ (in space) তল বা আয়তনও হতে পারে। একটি ফাঁপা পরিবাহীর অভ্যন্তরস্থ আয়তন সমবিভব আয়তন। বলা বাহুল্য, ঐ আয়তন শূন্য দেশস্থ আয়তন। এইরূপ যে-কোনো শূন্য দেশে তড়িৎ ক্ষেত্র কাজ করলে সেখানে আমরা সমবিভব তল আঁকতে পারি।

মনে কর, বায়ুতে একটি বিচ্ছিন্ন (isolated) তড়িতাধান q আছে। ঐ তড়িতাধান হতে r দূরে বিভব = $\frac{q}{4\pi\epsilon_0 r}$; ঐ তড়িতাধানকে কেন্দ্র করে এবং r ব্যাসার্ধ নিয়ে গোলক আঁকলে, ঐ গোলকের তল $\frac{q}{4\pi\epsilon_0 r}$ মানের সমবিভব তল হবে। প্রকৃতপক্ষে, ওই তড়িতাধানকে কেন্দ্র করে যে-কোনো গোলক

আঁকলেই, তা সমবিভব তল হবে এবং তার বিভব হবে গোলকের ব্যাসার্ধের ব্যস্তানুপাতিক।

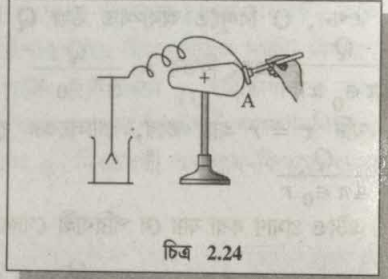
উল্লেখযোগ্য যে, কোনো তল সমবিভবসম্পন্ন হলে, ঐ তল বরাবর কোনো তড়িতাধানকে এক স্থান হতে অন্য স্থানে সরালে কোনো কার্য করা হয় না।

তড়িতাহিত পরিবাহীর তল সমবিভব তল— এটা প্রদর্শনের পরীক্ষা :

একটি অসম আকৃতির অন্তরিত পরিবাহী (A) নিয়ে, ধরো, তাকে ধনাত্মক তড়িতে আহিত করা হল।

একটি অনাহিত স্বর্ণপত্র তড়িৎবীক্ষণ নিয়ে একগাছা তারের সাহায্যে তার চাকতির সাথে একটি আধান পরীক্ষক যুক্ত করো। তড়িৎবীক্ষণকে পরিবাহী হতে যথেষ্ট দূরে রাখ যাতে পরিবাহী দ্বারা তড়িৎবীক্ষণে তড়িতাবেশ না হতে পারে। এ অবস্থায় তড়িৎবীক্ষণের স্বর্ণপত্র দুটির কোনো বিস্ফারণ হবে না।

এইবার আধান পরীক্ষকের চাকতিকে পরিবাহীর পৃষ্ঠে স্থাপন করো। সঙ্গে সঙ্গে তড়িৎবীক্ষণের স্বর্ণপত্র দুটি বিস্ফারিত হবে। আধান পরীক্ষককে না উঠিয়ে পরিবাহীর পৃষ্ঠ বরাবর বিভিন্ন স্থানে নিয়ে যাও [চিত্র 2.24]। দেখা যাবে যে স্বর্ণপত্রদ্বয়ের বিস্ফারণ সর্বত্র সমান থাকছে। এটা নিঃসন্দেহে প্রমাণ করে যে পরিবাহীর পৃষ্ঠের বিভিন্ন বিন্দুতে বিভব সমান।



চিত্র 2.24

যদি পরিবাহীকে আবেশের দ্বারা একই সঙ্গে ধনাত্মক ও ঋণাত্মক তড়িৎ দেওয়া হয়, তাহলেও একই ফল পাওয়া যাবে। অর্থাৎ আবেশ প্রক্রিয়া পরিবাহীতে একই সঙ্গে উভয় প্রকার তড়িতের উদ্ভব করলেও, পরিবাহীর পৃষ্ঠ সমবিভবসম্পন্ন হয় এবং এই বিভব নির্ভর করে আবেশী তড়িতের (inducing charge) উপর। আবেশী তড়িৎ ধনাত্মক হলে পরিবাহীর বিভব ধনাত্মক হবে; আর, আবেশী তড়িৎ ঋণাত্মক হলে পরিবাহীর বিভব ঋণাত্মক হবে।

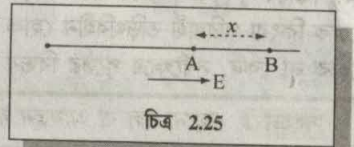
এস্থলে উল্লেখযোগ্য যে উপরিউক্ত তড়িতাহিত অসম আকৃতির পরিবাহীর পৃষ্ঠের সর্বত্র বিভব সমান হলেও, আধানের তলমাত্রিক ঘনত্ব সমান হবে না।

2.20.

প্রাবল্য ও বিভবের পারস্পরিক সম্পর্ক

(Relation between intensity and potential) :

ধরো, কোনো তড়িৎক্ষেত্রে A এবং B দুটি কাছাকাছি বিন্দু নেওয়া হল। তাদের ভিতর দূরত্ব x ; যদি x খুব ক্ষুদ্র হয় তাহলে মনে করা যেতে পারে যে বিন্দুদ্বয়ের ভিতর সর্বত্র একটি অপরিবর্তিত মানের ক্ষেত্র-প্রাবল্য ক্রিয়া করছে। ধর, ঐ ক্ষেত্র-প্রাবল্যের মান $= E$ [চিত্র 2.25] এবং অভিমুখ A থেকে B-এর দিকে। ফলে, B অপেক্ষা A উচ্চতর বিভবে আছে। এখন A এবং B বিন্দু দুটির বিভব যথাক্রমে V_A এবং V_B হলে ($V_A > V_B$), $V_A - V_B = B$ থেকে একটি একক ধনাত্মক আধানকে A পর্যন্ত আনতে কৃতকার্য = বল \times A এবং B-এর ভিতরকার দূরত্ব $= -(E \times x)$ [ঋণাত্মক চিহ্ন কারণ প্রাবল্য এবং সরণ বিপরীতমুখী]।



চিত্র 2.25

$$\therefore E = - \frac{V_A - V_B}{x}$$

ক্যালকুলাস প্রতীক অনুযায়ী দুই বিন্দুর ভিতর দূরত্ব dx এবং বিভব প্রভেদ dV হলে,

$$E = - \frac{dV}{dx} \dots \dots (i)$$

$\frac{dV}{dx}$ - কে বলা হয় বিভবের নতিমাত্রা (potential gradient) : অতএব তড়িৎক্ষেত্রের কোনো বিন্দুর ক্ষেত্র-প্রাবল্য ঐ বিন্দুর বিভবের ঋণাত্মক নতিমাত্রার সমান। ধর, দুটি সমান্তরাল ও সমতল প্লেট পরস্পর হতে h উচ্চতায় রাখা আছে। এদের বিভব পার্থক্য V হলে, প্লেট দুটির মধ্যস্থানে তড়িৎক্ষেত্র সুযম হবে (যদি h ক্ষুদ্র হয়) এবং ঐ ক্ষেত্র প্রাবল্যের মান হবে $E = \frac{V}{h}$; প্লেটের কিনারায় ক্ষেত্র সুযম হবে না।

(i) নং সমীকরণ হতে জানা যায় যে ক্ষেত্র প্রাবল্য তীব্র হলে বিভবের নতিমাত্রা বেশি হবে এবং

ক্ষীণ হলে নতিমাত্রা কম হবে।

2.5 অনুচ্ছেদে প্রাবল্যের একক বলা হয়েছে dyne/esu (সি.জি.এস) এবং newton/coulomb (এস. আই)। (i) নং সমীকরণ হতে প্রাবল্যের বিকল্প একক হবে esu বিভব / cm (সি.জি.এস) এবং volt/metre (এস. আই)।

□ EXAMPLES □

1. কোনো তড়িৎক্ষেত্রে তড়িৎবিভব (V_x) কেবলমাত্র x -এর উপর নির্ভর করে এবং $V(x) = ax - bx^3$ যেখানে a এবং b ধ্রুবক। x -অক্ষের কোন কোন স্থানে তড়িৎ প্রাবল্যের মান শূন্য হবে ?

উঃ। $V(x) = ax - bx^3$ তাহলে, প্রাবল্য $E = -\frac{d(V_x)}{dx} = -\frac{d}{dx}(ax - bx^3)$
 $= -(a - 3bx^2) = -a + 3bx^2$.

প্রাবল্য শূন্য হলে $-a + 3bx^2 = 0$ অথবা, $x = \sqrt{\frac{a}{3b}}$.

2. কোনো আহিত পরিবাহীর পৃষ্ঠে বিভবের নতিমাত্রা $30,000 \text{ volt cm}^{-1}$ হলে, পরিবাহীর পৃষ্ঠ হতে বায়ুতে বিদ্যুৎফুলিঙ্গ হয়। বিদ্যুৎফুলিঙ্গ সৃষ্টি না করে একটি অন্তরিত ধাতব গোলকের $3 \times 10^6 \text{ volt}$ বিভবে তড়িতাহিত করতে হলে ঐ গোলকের ব্যাসার্ধ কত হতে হবে ?

উঃ। ধরো, গোলকের নির্ণেয় ব্যাসার্ধ $= x$ মিটার। গোলকের পৃষ্ঠে বিভব V হলে, তার তড়িতাধান

Q নিম্নলিখিত সমীকরণ হতে পাই, $V = \frac{Q}{4\pi\epsilon_0 x}$; এক্ষেত্রে $3 \times 10^6 = \frac{Q}{4\pi\epsilon_0 x}$

$\therefore Q = 4\pi\epsilon_0 \times 3 \times 10^6 \times x$ কুলম্ব (i)

এখন, বিদ্যুৎফুলিঙ্গা না হয়ে গোলকের পৃষ্ঠের সর্বাপেক্ষা বেশি বিভবের নতিমাত্রা $= \frac{dV}{dx} = \frac{30,000}{1/100}$
 $= 3 \times 10^6 \text{ volt/m}$.

আবার, $V = \frac{Q}{4\pi\epsilon_0 x}$; ডিফারেন্সিয়েট করলে, $\frac{dV}{dx} = -\frac{Q}{4\pi\epsilon_0 x^2}$;

[মাইনাস চিহ্ন বোঝায় যে x বৃদ্ধি পেলে বিভবের নতিমাত্রা কমে।]

এক্ষেত্রে $3 \times 10^6 = \frac{4\pi\epsilon_0 \times 3 \times 10^6 \times x}{4\pi\epsilon_0 \cdot x^2}$ [(i) নং সমীকরণের সাহায্যে]

$\therefore x = 1 \text{ metre}$.

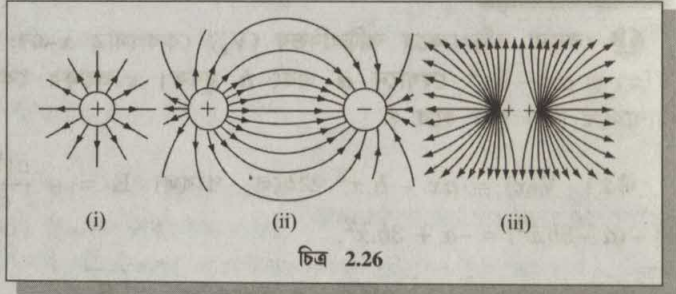
2.21. তড়িৎ বলরেখা (Electric lines of force) :

তড়িৎ ক্ষেত্রের বিভিন্ন বিন্দুতে প্রাবল্যের মান ও অভিমুখ বিভিন্ন। তড়িৎ ক্ষেত্রের বিভিন্ন বিন্দু দিয়ে যদি এমন একটি রেখা কল্পনা করা যায় যে ঐ রেখার যে-কোনো বিন্দুতে স্পর্শক টানলে তা ঐ বিন্দুর প্রাবল্যের অভিমুখ নির্দেশ করে, তবে, ঐ রেখাকে তড়িৎ বলরেখা বলা হবে। তড়িৎক্ষেত্রে মুক্ত অবস্থায় একটি ক্ষুদ্র ধনাত্মক তড়িতাধান ছেড়ে দিলে তা তড়িৎ বলরেখা বরাবর চলতে থাকবে।

চৌম্বক বলরেখার অস্তিত্ব কল্পনা করে যেমন চৌম্বক ক্ষেত্রের বিভিন্ন ধর্ম ব্যাখ্যা করা যায় ঠিক তেমনি উপরোক্ত ধরনের তড়িৎ বলরেখার অস্তিত্ব কল্পনা করে তড়িৎক্ষেত্রের বিভিন্ন ধর্ম ব্যাখ্যা করা যায়।

সংজ্ঞা : কোনো তড়িৎক্ষেত্রে বলরেখা বলতে এরূপ একটি বক্ররেখা বোঝায় যে, ঐ রেখার যে-কোনো বিন্দুতে স্পর্শক টানলে তা ঐ বিন্দুতে ক্ষেত্র-প্রাবল্যের অভিমুখ নির্দেশ করে।

কোনো তড়িৎতাহিত বস্তুর চতুর্দিকস্থ তড়িৎক্ষেত্রব্যাপী এরূপ অসংখ্য বলরেখা টানা যেতে পারে। 2.26 নং চিত্রে কয়েকটি বিশেষ ক্ষেত্রে বলরেখার আকৃতি দেখানো হয়েছে। 2.26 (i) নং চিত্রে যে-বলরেখাগুলি দেখানো



হয়েছে তা একটি তড়িৎতাহিত গোলকের দরুন। বলরেখাগুলির অভিমুখ এরূপ যে পশ্চাতে বর্ধিত করলে সব বলরেখা গোলকের কেন্দ্রে মিলিত হয়। 2.26 (ii) নং চিত্রের বলরেখাগুলি গঠিত হয়েছে দুটি সমপরিমাণ কিন্তু বিপরীতধর্মী তড়িৎতাহানের দ্বারা এবং 2.26 (iii) নং চিত্রের বলরেখাগুলি গঠিত হয়েছে দুটি সমপরিমাণ কিন্তু সমধর্মী বিন্দু তড়িৎতাহানের দ্বারা। 2.26 (iii) নং চিত্র লক্ষ করলে দেখা যায়, চৌম্বক বলরেখার ক্ষেত্রে যেদুটি উদাসীন বিন্দু (neutral point) পাওয়া যায় এক্ষেত্রেও সেইরূপ উদাসীন বিন্দু পাওয়া যাচ্ছে।

● তড়িৎ বলরেখার বৈশিষ্ট্য (Characteristics of electric lines force) :

(i) ধনাত্মক আধানযুক্ত পরিবাহীর হতে বলরেখা নির্গত হয়ে ঋণাত্মক আধানযুক্ত পরিবাহীতে শেষ হয়। রেখাগুলি অসীম হতে আধানযুক্ত পরিবাহীর দিকে অথবা পরিবাহী হতে অসীমের দিকেও যেতে পারে। সুতরাং তড়িৎ বলরেখাগুলি বন্ধ রেখা নয়।

(ii) দুটি বলরেখা কখনও পরস্পরকে ছেদ করে না; ছেদ করলে বলরেখার সংজ্ঞা অনুযায়ী ছেদবিন্দুতে তড়িৎক্ষেত্র-প্রাবল্য দুটি বিভিন্ন দিকে ক্রিয়া করবে যা সম্পূর্ণ অবাস্তব ব্যাপার।

(iii) বলরেখাগুলি প্রসারিত স্থিতিস্থাপক সূতোর মতো দৈর্ঘ্য বরাবর সংকুচিত হবার চেষ্টা করে। বলরেখার এই ধর্ম দ্বারা দুটি তড়িৎতাহানের পারস্পরিক আকর্ষণ ব্যাখ্যা করা সম্ভব।

(iv) বলরেখা পরিবাহীকে সমকোণে স্পর্শ করে। এর কারণ পরিবাহীর ঠিক বাইরে তড়িৎক্ষেত্র প্রাবল্য পরিবাহীর পৃষ্ঠের অভিলম্ব।

(v) প্রত্যেক বলরেখার দুই প্রান্তে সমান কিন্তু বিপরীত আধান থাকে।

(vi) কোনো বন্ধ পরিবাহীর অভ্যন্তরে বলরেখার অস্তিত্ব নেই। তাই বন্ধ পরিবাহী তড়িৎ-পর্দার কাজ করতে পারে।

(v) বলরেখাগুলি পরস্পরকে পাশের দিকে বিকর্ষণ করে। বলরেখার এই ধর্ম দ্বারা দুটি তড়িৎতাহানের বিকর্ষণ ব্যাখ্যা করা যায়।

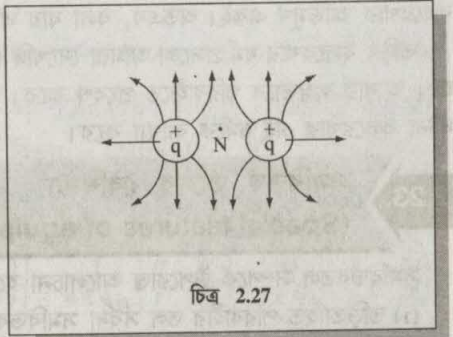
● তড়িৎ বলরেখা এবং চৌম্বক বলরেখার পার্থক্য :

(i) তড়িৎ বলরেখা সর্বদা অহিত পরিবাহীতে লম্বভাবে শেষ হয় অথবা পরিবাহী হতে লম্বভাবে নির্গত হয়। কিন্তু চৌম্বক বলরেখা যে-কোনো চৌম্বকতল হতে নির্গত হতে পারে বা তলে শেষ হতে পারে।

(ii) পরিবাহীর অভ্যন্তরে তড়িৎ বলরেখার অস্তিত্ব নেই কিন্তু চৌম্বক পদার্থের ভিতর বলরেখা থাকতে পারে।

(iii) স্থির তড়িৎ ক্ষেত্রে তড়িৎ বলরেখাগুলি বন্ধ বলরেখা নয়; কিন্তু চৌম্বক ক্ষেত্রে আবেশ রেখাগুলি বন্ধ রেখা।

● **উদাসীন বিন্দু (Neutral points) :** পূর্বে উল্লেখ করা হয়েছে যে চৌম্বক বলরেখার ক্ষেত্রে যেরূপ উদাসীন বিন্দু পাওয়া যায়, তড়িৎ-বলরেখার ক্ষেত্রেও সেইরূপ উদাসীন বিন্দুর উদ্ভব হয়। তড়িৎ ক্ষেত্রে উদাসীন বিন্দুর ধারণা স্পষ্ট করার জন্য, মনে করো, আমরা কিছু তফাতে রাখা দুটি সমপরিমাণ এবং সমপ্রকৃতির (ধনাত্মক) বিন্দু আধান $+q$ এবং $+q$ এর কথা বিবেচনা করি [চিত্র 2.27]। এই অবস্থায় বোঝা যায় যে আধান দুটির ঠিক মধ্যবিন্দুতে (N) ক্ষেত্রপ্রাবল্য সমান ও বিপরীতমুখী হবে। ফলে N বিন্দুতে লব্ধ তড়িৎ ক্ষেত্র প্রাবল্য হবে শূন্য। N বিন্দুতে একটি মুক্ত তড়িতাধান—একে বলা হয় test charge— রাখলে তা কোনো বল অনুভব করবে না এবং N বিন্দুতে সাম্য-অবস্থাতে থাকবে। N বিন্দুকে বলা হয় উদাসীন বিন্দু।

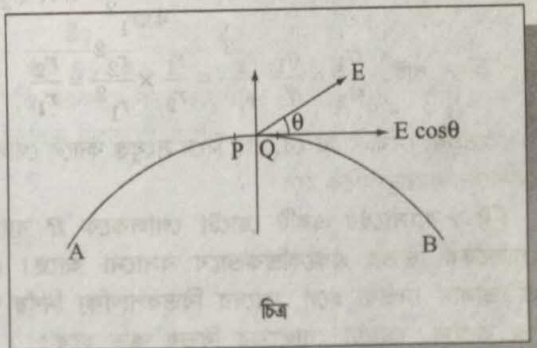


চিত্র 2.27

কিন্তু প্রশ্ন এই যে N বিন্দুতে অবস্থিত মুক্ত তড়িতাধানের সাম্য কি সুস্থির সাম্য? সুস্থির সাম্যের শর্ত এই যে, মুক্ত তড়িতাধানকে যে-কোনো দিকে একটু স্থানান্তরিত করলে, তার উপর প্রত্যানয়নকারী (restoring) বল ক্রিয়া করে আধানকে আবার N-বিন্দুতে ফিরিয়ে আনবে। এখন দেখা যাক যে বর্তমান ক্ষেত্রে এই শর্ত পালিত হয় কিনা? মুক্ত তড়িতাধানকে (test charge) সামান্য দক্ষিণে বা বামে সরালে তার ওপর একটি প্রত্যানয়ন বল ক্রিয়া করবে এবং তড়িতাধান N বিন্দুতে ফিরে আসবে। কিন্তু তড়িতাধানকে N বিন্দু থেকে সামান্য ওপরে বা নীচে সরালে, তার ওপর যে তড়িৎ বল ক্রিয়া করবে তা তড়িতাধানকে N বিন্দু থেকে দূরে সরিয়ে নেবে। মুক্ত তড়িতাধান সবদিকে প্রত্যানয়নকারী বল অনুভব করে না। অতএব, N বিন্দুতে অবস্থিত মুক্ত আধানের সাম্য সুস্থির নয়।

2.22. তড়িৎ বলরেখা সমবিভব তলকে সমকোণে ছেদ করে (Electric lines of force intersect an equipotential surface normally) :

একটি তড়িতাহিত পরিবাহীর সমবিভব তল AB-এর ওপর দুটি খুব কাছাকাছি বিন্দু P এবং Q বিবেচনা করো। ধরো, ঐ বিন্দুদ্বয়ের ভিতর তড়িৎ ক্ষেত্রের প্রাবল্য E এবং ঐ প্রাবল্যের অভিমুখ তলের সাথে θ কোণ করে [চিত্র 2.28]। P এবং Q খুব কাছাকাছি বলে PQ-কে একটি সরলরেখা বলে গণ্য করা যায়। এখন ক্ষেত্র-প্রাবল্য E -কে যদি PQ-এর সমান্তরালে এবং উল্লম্বভাবে বিভাজন করা যায় তবে তল PQ-এর সমান্তরাল উপাংশ $= E \cdot \cos \theta$ । তাহলে, একটি ধনাত্মক আধানকে P বিন্দু হতে Q বিন্দুতে সরালে যে কার্য করা হবে তা $= E \cdot \cos \theta \times PQ$ ।



চিত্র

সমবিভব তলের বৈশিষ্ট্য থেকে আমরা জানি যে এই তল বরাবর কোনো তড়িৎস্থানকে এক স্থান হতে অন্য স্থানে নিলে কোনো কার্য করা হয় না। অতএব, $E \cdot \cos \theta \times PQ = 0$ অথবা $\cos \theta = 0$ অথবা $\theta = \pi/2$; এটা প্রমাণ করে যে ক্ষেত্র-প্রাবল্যের অভিমুখ সমবিভব তলকে অভিলম্বভাবে ছেদ করে। আমরা এটাও জানি যে-কোনো বিন্দুতে ক্ষেত্র-প্রাবল্যের অভিমুখ এবং এই বিন্দু দিয়ে অতিক্রান্ত তড়িৎ বলরেখার অভিমুখ একই। অতএব, বলা যায় তড়িৎ বলরেখা সমবিভব তলকে সমকোণে ছেদ করে।

তড়িৎ বলরেখার ধর্ম প্রসঙ্গে আমরা দেখেছি যে পরিবাহীর তল হতে লম্বভাবে তড়িৎ বলরেখা নির্গত হয়; আবার লম্বভাবে পরিবাহীতে প্রবেশ করে। তড়িৎপ্রস্তু পরিবাহীর তল সমবিভববস্তু বলে, উপরোক্ত ঘটনা বলরেখার এই ধর্মকে ব্যাখ্যা করে।

2.23.

সমবিভব তলের বৈশিষ্ট্য

(Special features of equipotential surface):

সমবিভবতল সম্পর্কে উপরোক্ত আলোচনা হতে এই তলের নিম্নলিখিত বৈশিষ্ট্য লক্ষ করা যায় :

- তড়িৎতাহিত পরিবাহীর তল সর্বদা সমবিভব তল। এই তলের ওপর তড়িৎস্থানগুলি স্থির থাকে।
- তড়িৎ বলরেখা সমবিভবতলকে সমকোণে ছেদ করে।
- সমবিভব তলের ওপর কোনো তড়িৎস্থানকে এক বিন্দু থেকে অপর বিন্দুতে স্থানান্তরিত করতে কোনো কার্য করতে হয় না।

(iv) কোনো বস্তুর তল বা আয়তন সমবিভবসম্পন্ন হতে পারে; আবার শূন্য দেশস্থ (in space) কোনো তল বা আয়তনও সমবিভবসম্পন্ন হতে পারে।

□ EXAMPLES □

1. r_1 এবং r_2 ব্যাসার্ধের দুটি গোলক-কে তড়িৎতাহিত করে একটি সরু তার দিয়ে যুক্ত করা হল। এই অবস্থায় গোলক দুটির আধানের তলমাত্রিক ঘনত্বের অনুপাত কত?

উঃ। তড়িৎতাহিত গোলক দুটিকে তার দিয়ে সংযুক্ত করলে তড়িৎস্থান এক গোলক হতে অন্য গোলকে স্থানান্তরিত হবে যতক্ষণ পর্যন্ত না তাদের বিভব সমান হয়। যখন তাদের বিভব সমান হল, ধরো, তখন তাদের তড়িৎস্থান যথাক্রমে q_1 এবং q_2 ; সমবিভব V হলে,

$$V = \frac{q_1}{4\pi\epsilon_0 r_1} = \frac{q_2}{4\pi\epsilon_0 r_2} \text{ অথবা } \frac{q_1}{q_2} = \frac{r_1}{r_2}.$$

গোলক দুটির আধানের তলমাত্রিক ঘনত্ব

$$\text{যথাক্রমে } \sigma_1 \text{ এবং } \sigma_2 \text{ ধরলে, } \sigma_1 = \frac{q_1}{4\pi r_1^2} \text{ এবং } \sigma_2 = \frac{q_2}{4\pi r_2^2}.$$

$$\text{ভাগ দিলে পাই, } \frac{\sigma_1}{\sigma_2} = \frac{q_1}{q_2} \cdot \frac{r_2^2}{r_1^2} = \frac{r_1}{r_2} \times \frac{r_2^2}{r_1^2} = \frac{r_2}{r_1}$$

অতএব, দেখা যাচ্ছে যে, তার দিয়ে সংযুক্ত করলে গোলক দুটির আধানের তলমাত্রিক ঘনত্ব তাদের ব্যাসার্ধের ব্যস্তানুপাতিক হবে।

2. r ব্যাসার্ধের একটি ছোটো গোলককে R ব্যাসার্ধের আর একটি বড়ো এবং ফাঁপা গোলকের ভিতর এককেন্দ্রিকভাবে বসানো আছে। গোলক দুটিকে যথাক্রমে q এবং Q তড়িৎস্থান দেওয়া হলে, তাদের বিভবপর্যাক্ষ নির্ণয় করো। সরু তার দ্বারা গোলক দুটিকে যুক্ত করলে, ছোটো গোলকের বিভব কত হবে?

উঃ। বড়ো গোলকের বিভব সৃষ্টি হবে (i) নিজস্ব তড়িৎস্থানের জন্য এবং (ii) অভ্যন্তরস্থ গোলকের তড়িৎস্থানের জন্য, কারণ বড় গোলকটি অভ্যন্তরস্থ q আধান দ্বারা সৃষ্ট তড়িৎক্ষেত্রে আছে।

নিজস্ব তড়িতাধানের জন্য পৃষ্ঠস্থ বিভব = $\frac{Q}{4\pi\epsilon_0 R}$ এবং q আধানের জন্য, বিভব = $\frac{q}{4\pi\epsilon_0 R}$ কারণ q তড়িতাধানকে বড়ো গোলকের কেন্দ্রস্থলে জমা করা আছে মনে করতে হবে।

$$\text{অতএব, } V_R = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \left(\frac{Q}{R} + \frac{q}{R} \right)$$

আবার, ছোটো গোলকের বিভব সৃষ্টি হবে দুই গোলকের তড়িতাধানের জন্যই কারণ ছোটো গোলক বড়ো গোলকের অভ্যন্তরে আছে। নিজস্ব আধানের জন্য এর পৃষ্ঠের বিভব = $\frac{q}{4\pi\epsilon_0 r}$ এবং Q আধানের জন্য বড়ো গোলকের অভ্যন্তরস্থ যে-কোনো বিন্দুতে বিভব = $Q/4\pi\epsilon_0 R$

$$\text{অতএব, } V_r = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \left(\frac{q}{r} + \frac{Q}{R} \right)$$

$$\therefore V_r - V_R = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \left[\left(\frac{q}{r} + \frac{Q}{R} \right) - \left(\frac{Q}{R} + \frac{q}{R} \right) \right] = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \left(\frac{q}{r} - \frac{q}{R} \right) = \frac{q}{4\pi\epsilon_0} \left(\frac{1}{r} - \frac{1}{R} \right)$$

গোলক দুটিকে যুক্ত করলে ছোটো গোলকের সব আধান বড়ো গোলকের পৃষ্ঠে চলে যাবে এবং সেক্ষেত্রে $V_r = V_R$ হবে।

৩। একটি সমবাহু ত্রিভুজের তিন শীর্ষবিন্দুতে **0.1 coulomb** পরিমাণ তিনটি তড়িতাধান রাখা আছে। ত্রিভুজের প্রত্যেক বাহুর দৈর্ঘ্য **1 metre**; তড়িতাধানগুলির যে-কোনো একটিকে **1 kW** হারে শক্তি সরবরাহ করলে, তাকে অপর দুই তড়িতাধান যুক্ত করে যে রেখা পাওয়া যায় তার মধ্যবিন্দুতে আনতে কত সময় লাগবে?

উঃ। ধরো, ABC সমবাহু ত্রিভুজ। A, B, এবং C শীর্ষবিন্দুতে q ($= 0.1 \text{ coulomb}$) পরিমাণ তড়িতাধান রাখা আছে [চিত্র 2.29]। D হল BC বাহুর মধ্যবিন্দু। এখন, B এবং C বিন্দুতে অবস্থিত তড়িতাধানের জন্য A বিন্দুতে বিভব $V_a = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \left(\frac{q}{a} + \frac{q}{a} \right)$

$= \frac{2q}{4\pi\epsilon_0 a}$ আবার, B এবং C বিন্দুতে অবস্থিত তড়িতাধানের জন্য

D বিন্দুতে বিভব $V_d = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \left(\frac{q}{a/2} + \frac{q}{a/2} \right) = \frac{4q}{4\pi\epsilon_0 a}$

\therefore A এবং D বিন্দুর ভিতর বিভব পার্থক্য $= V_d - V_a$

$$= \frac{4q}{4\pi\epsilon_0 a} - \frac{2q}{4\pi\epsilon_0 a} = \frac{2q}{4\pi\epsilon_0 a}$$

ধরো, A বিন্দুতে অবস্থিত q আধানকে শক্তি সরবরাহ করা হল এবং ঐ আধান A বিন্দু হতে D বিন্দুতে গেল। A বিন্দু হতে D বিন্দুতে q তড়িতাধান নিতে কৃতকার্য

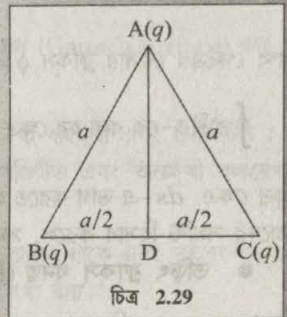
$W = A$ এবং D বিন্দুর বিভব-প্রভেদ $\times q$

$$= \frac{2q \times q}{4\pi\epsilon_0 a} = \frac{2 \times 0.1 \times 0.1 \times 9 \times 10^9}{1} \quad \left(\frac{1}{4\pi\epsilon_0} = 9 \times 10^9 \right)$$

$$= 1.8 \times 10^8 \text{ joule}$$

শক্তি সরবরাহের হার $= 1 \text{ kW} = 1000 \text{ watt} = 1000 \text{ joule/s}$.

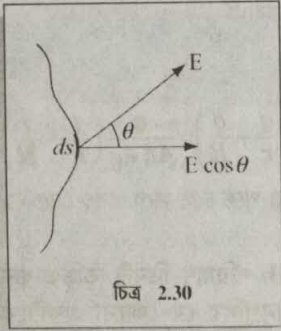
$$\therefore \text{নির্ণেয় সময়} = \frac{1.8 \times 10^8}{1000} = 1.8 \times 10^5 \text{ s} = 50 \text{ h}.$$



● গসের উপপাদ্য ও তার প্রয়োগ ● (Gauss's theorem and its applications)

2.24. তড়িৎক্ষেত্রের ফ্লাক্স (Flux of electric field) :

\vec{E} তড়িৎক্ষেত্রের ভিতর একটি তল (surface) কল্পনা করো। ওই তলের ওপর একটি অতি ক্ষুদ্র ক্ষেত্র ds নেওয়া হল। বলা বাহুল্য, সমগ্রতলকে ওইরকম অসংখ্য ক্ষুদ্র ক্ষেত্রে বিভক্ত করা যেতে পারে। ক্ষুদ্র



চিত্র 2.30

ক্ষেত্রের পরিচয় সম্পূর্ণ করতে (অর্থাৎ মান ও অভিমুখ) ds -কে একটি ভেক্টর হিসাবে গণ্য করা হয়। ds -এর উপর লম্ব টানলে, সেটাই হবে ক্ষেত্র-ভেক্টর ds -এর অভিমুখ।

এখন তড়িৎক্ষেত্রের সংজ্ঞা থেকে বলা যায় যে \vec{ds} ক্ষেত্র-ভেক্টর অতিক্রম করে যে-সংখ্যক বলরেখা যাবে তা $= \vec{E} \cdot \vec{ds}$; একে \vec{ds} ভেক্টরের উপর তড়িৎ ক্ষেত্রের তড়িৎ ফ্লাক্স বলা হয়। ফ্লাক্সের মান $E \cos \theta \cdot ds$ [চিত্র 2.30]।

সমগ্র S ক্ষেত্রের ভিতর দিয়ে তড়িৎ ফ্লাক্স $\phi = \int_S \vec{E} \cdot \vec{ds}$ ।

বন্ধ ক্ষেত্রের বেলায় ফ্লাক্স $\phi = \oint_S \vec{E} \cdot \vec{ds}$ ।

∫ প্রতীক-কে বলা হয় ক্ষেত্র সমাকল (surface integral)। এর অর্থ, সমগ্র ক্ষেত্রকে অসংখ্য ক্ষুদ্র ক্ষুদ্র ক্ষেত্র ds -এ ভাগ করতে হবে এবং প্রত্যেক ক্ষুদ্র ক্ষেত্রের জন্য $\vec{E} \cdot \vec{ds}$ স্কেলার গুণফল নির্ণয় করে তাদের সমষ্টি হিসাব করলে, সমগ্র ক্ষেত্রফল দিয়ে অতিক্রান্ত মোট ফ্লাক্স পাওয়া যাবে।

● তড়িৎ ফ্লাক্স ঘনত্ব (Electric flux density) : একটি বিন্দু আধানের চতুর্দিকে তড়িৎক্ষেত্র বিরাজ করে। q তড়িতাধান থেকে r দূরে তড়িৎক্ষেত্রের প্রাবল্য $\vec{E} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{q}{r^2} \cdot \hat{r}$ [\hat{r} হল \vec{r} -এর অভিমুখে একক ভেক্টর]

উপরোক্ত সম্পর্কে নিম্নরূপে প্রকাশ করা যায় $\frac{q}{4\pi r^2} \cdot \hat{r} = \epsilon_0 \vec{E}$

স্পষ্টত উপরোক্ত সমীকরণের বামদিক আধানের তলমাত্রিক ঘনত্ব (কুলম্ব/মি²) বুঝায়। অতএব $\epsilon_0 \vec{E}$ -এই গুণফলের মাত্রা (dimension) তলমাত্রিক ঘনত্বের মাত্রার সমান হবে। একে বলা হয় তড়িৎ ফ্লাক্স ঘনত্ব অথবা তড়িৎ আবেশ। D অক্ষর দ্বারা একে প্রকাশ করা হয়। অতএব

$$\text{তড়িৎ আবেশ } \vec{D} = \epsilon_0 \vec{E}$$

উপরোক্ত সমীকরণ অনুযায়ী ফ্লাক্স ঘনত্ব বা আবেশ এবং ক্ষেত্র-প্রাবল্য উভয়ই সমমুখী ভেক্টর।

2.25. গসের উপপাদ্য (Gauss's Theorem) :

স্থির তড়িৎবিজ্ঞানে গসের উপপাদ্য খুবই গুরুত্বপূর্ণ। কোনো বন্ধতলের বিভিন্ন বিন্দুতে যদি তড়িৎপ্রাবল্য জানা থাকে তবে এই উপপাদ্যের সাহায্যে যে-তড়িতাধান ঐ প্রাবল্য সৃষ্টি করে তা নির্ণয় করা যায়।

বিকল্পে, তড়িতাধানের পরিমাণ জানা থাকলে এই উপপাদ্যের সাহায্যে বন্ধতলের বিভিন্ন বিন্দুতে প্রাবল্য নির্ধারণ করা যায়। উপপাদ্যটি নিম্নরূপ :

কোনো বন্ধতলের ভিতর দিয়ে অতিক্রান্ত মোট অভিলম্ব তড়িৎফ্লাক্স \vec{E} তলের অভ্যন্তরে অবস্থিত মোট তড়িতাধানের $\frac{1}{\epsilon_0}$ গুণের সমান।* (Total normal electric flux over a closed surface is equal to $\frac{1}{\epsilon_0}$ times the total charge inside the surface).

● গস উপপাদ্যের বিকল্প রূপ (Alternative form of Gauss's theorem) : গস উপপাদ্যের

গাণিতিকরূপ : $\oint \vec{E} \cdot d\vec{s} = \frac{q}{\epsilon_0}$ অথবা $\epsilon_0 \oint \vec{E} \cdot d\vec{s} = q$

যেহেতু $\epsilon_0 \vec{E} = \vec{D}$ তাই লেখা যায় $\oint \vec{D} \cdot d\vec{s} = q$

পূর্বে উল্লেখ করা হয়েছে \vec{D} ভেক্টর কে বলা হয় ফ্লাক্স ঘনত্ব বা তড়িতাবেশ। সুতরাং উপরোক্ত সমীকরণ অনুযায়ী গস উপপাদ্যের বিকল্পরূপ হবে :

তড়িৎ ক্ষেত্রে রাখা কোনো বন্ধতলের উপর মোট অভিলম্ব আবেশ \vec{E} বন্ধতলের অভ্যন্তরে অবস্থিত মোট তড়িতাধানের সমান।

তড়িৎ ক্ষেত্রে অবস্থিত কোনো বন্ধতলকে সাধারণভাবে গসের তল (Gauss's surface) বলা হয়।

অনুসিদ্ধান্ত (Corollaries) :

(i) বন্ধতলের অভ্যন্তরস্থ তড়িতাধান পজিটিভ হলে $(+q)$ বলরেখা বহির্মুখী এবং নেগেটিভ $(-q)$ হলে বলরেখা অন্তর্মুখী ধরা হয়। বহির্মুখী বলরেখাকে সাধারণত পজিটিভ এবং অন্তর্মুখী বলরেখাকে নেগেটিভ গণ্য করা হয়।

(ii) যদি বন্ধতলের অভ্যন্তরে q_1, q_2, \dots, q_n প্রভৃতি একাধিক তড়িতাধান থাকে এবং তৎসংলগ্ন তড়িৎ ক্ষেত্র যদি E_1, E_2, \dots, E_n হয়, তবে উপরিপাতনের নীতি থেকে লেখা যায়।

$$\epsilon_0 \oint \vec{E} \cdot d\vec{s} = \epsilon_0 \oint (\vec{E}_1 + \vec{E}_2 + \dots + \vec{E}_n) \cdot d\vec{s} = (q_1 + q_2 + \dots + q_n) = Q$$

যেখানে Q = বন্ধতলের অভ্যন্তরে মোট বা নিট আধান।

$$\text{আধানগুলি নেগেটিভ হলে মোট তড়িৎ ফ্লাক্স} = -\frac{1}{\epsilon_0} (q'_1 + q'_2 + \dots \dots)$$

অতএব, পজিটিভ ও নেগেটিভ সকল তড়িৎতধানের দরুন মোট ফ্লাক্স

$$= \frac{1}{\epsilon_0} (q_1 + q_2 + \dots - q'_1 - q'_2 \dots \dots) = \frac{1}{\epsilon_0} \sum q_n$$

(iii) যদি বন্ধতলের বাইরে এক বা একাধিক তড়িতাধান থাকে তবে তারা বন্ধতলের ভিতর দিয়ে কোনো বলরেখা পাঠায় না।

(iv) বন্ধতলের অভ্যন্তরে যদি কোনো তড়িতাধান না থাকে, তবে \vec{E} তলের অভিলম্ব ফ্লাক্স হবে শূন্য।

* প্রমাণ +2 পাঠ্যক্রম বহির্ভূত।

2.26.

গস উপপাদ্যের প্রয়োগ

(Applications of Gauss's Theorem) :

(i) সুমমভাবে আহিত সুদীর্ঘ ঋজু তারের সন্নিবিষ্ট কোনো বিন্দুতে তড়িৎ প্রাবল্য (Field intensity at a point near a uniformly charged infinitely long straight wire) :

AB একটি সুমমভাবে আহিত সুদীর্ঘ ঋজু তার। তার-কে Q তড়িতে আহিত করা হল যাতে তারের প্রতি

একক দৈর্ঘ্যে তড়িতাধানের পরিমাণ $= \lambda$ । তারের অক্ষ

(কাটা কাটা রেখা) থেকে r দূরে বাইরে একটি বিন্দু P

নেওয়া হল। P বিন্দুর ক্ষেত্র প্রাবল্য নির্ণয় করতে হবে।

তারের প্রস্থচ্ছেদের ব্যাসার্ধ $= R$;

P বিন্দুর ভিতর দিয়ে r ব্যাসার্ধের এবং l উচ্চতার

একটি সমাক্ষীয় বন্ধ চোঙ কল্পনা করো [চিত্র 2.31]।

এই চোঙ হবে বর্তমান ক্ষেত্রে গসীয় তল। ধর, P

বিন্দুতে ক্ষেত্রপ্রাবল্য $= \vec{E}_r$; প্রতিসাম্য হেতু বোঝা

যায় যে কাল্পনিক চোঙের বক্রতলের সকল বিন্দুতে

প্রাবল্য \vec{E}_r এবং এর অভিমুখ বক্রতলের অভিলম্ব

বরাবর। সুতরাং বক্রতলের ভিতর দিয়ে অতিক্রান্ত মোট

ফ্লাক্স $= \oint \vec{E}_r \cdot d\vec{s} = E_r \times 2\pi rl$

কাল্পনিক চোঙের দুই সমতল মুখ দিয়ে কোনো

বলরেখা যাবে না কারণ প্রাবল্য ঐ সমতলের স্পর্শক। অতএব, ঐ সমতলে ফ্লাক্স শূন্য। আবার আহিত

তারের একক দৈর্ঘ্যে λ তড়িতাধান থাকায় কাল্পনিক চোঙ λl তড়িতাধানকে নিজের মধ্যে আবদ্ধ রেখেছে।

অতএব, গসের উপপাদ্য অনুযায়ী $\oint \vec{E}_r \cdot d\vec{s} = \frac{\lambda l}{\epsilon_0}$ অথবা $E_r \times 2\pi rl = \frac{\lambda l}{\epsilon_0}$ অথবা

$E_r = \frac{\lambda}{2\pi \epsilon_0 r}$ ।

যদি P বিন্দু তারের খুব নিকটে অবস্থিত হয়। তবে $r = R$; সেক্ষেত্রে

$E_r = \frac{\lambda}{2\pi \epsilon_0 R}$

(ii) বহু বিত্তৃত সমতল পাতসদৃশ আধানের

নিকটবর্তী বিন্দুতে প্রাবল্য (Field intensity near an infinitely plane sheet charge)

ধরো, XY একটি বহু বিত্তৃত সমতল পাতসদৃশ আধান

(উভয় পৃষ্ঠে)। ঐ সমতল আধানের তলমাত্রিক ঘনত্ব

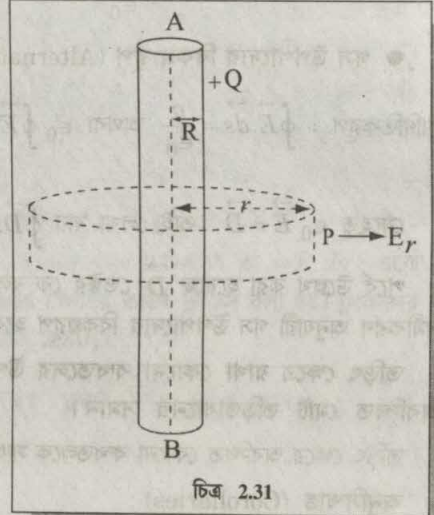
σ (উভয় পৃষ্ঠের আধান বিবেচনা করে)। ঐ সমতলের

উভয় দিকে সমদূরবর্তী দুটি বিন্দু C এবং D নেওয়া

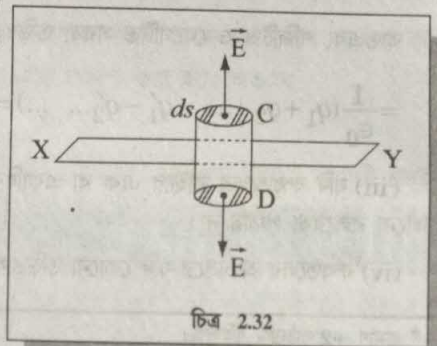
হল [চিত্র 2.32]। ঐ বিন্দুদ্বয়ের ভিতর দিয়ে ds

ছেদের একটি ক্ষুদ্র চোঙ কল্পনা করো। এই চোঙের

তল গসীয় তলরূপে কার্য করবে। যদি সমতল বহু-



চিত্র 2.31



চিত্র 2.32

বিস্তৃত (infinitely extended) হয়, তবে প্রতিসাম্য থেকে বলা যায় যে, তড়িৎপ্রাবল্য \vec{E} এ ছেদের অভিলম্ব এবং গসীয় চোঙের বক্রতলের সমান্তরাল হবে। সমতলের উভয় পার্শ্বে \vec{E} সমান। অতএব, বক্রতলের ভিতর দিয়ে কোনো বলরেখা যাবে না; বলরেখা কেবলমাত্র চোঙের প্রান্তস্থ দুই সমতল পৃষ্ঠের ভিতর দিয়ে যাবে। এখন, C বিন্দুতে ds ক্ষেত্রের ভিতর দিয়ে ফ্লাক্স $= \oint \vec{E} \cdot d\vec{s}$ এবং এটা বহির্মুখী। আবার D বিন্দুতে ds ক্ষেত্রের ভিতর দিয়ে ফ্লাক্স $= \oint \vec{E} \cdot d\vec{s}$ এবং এটাও বহির্মুখী। অতএব, গসীয় চোঙের ভিতর দিয়ে মোট অতিক্রান্ত ফ্লাক্স $= \oint \vec{E} \cdot d\vec{s} + \oint \vec{E} \cdot d\vec{s} = 2 \oint \vec{E} \cdot d\vec{s}$ । কাল্পনিক চোঙ অর্থাৎ গসীয় তল যে আধান বেষ্টিত করে তা $= \sigma \cdot ds$ ।

গসের উপপাদ্য অনুযায়ী $2 \oint \vec{E} \cdot d\vec{s} = \frac{\sigma \cdot ds}{\epsilon_0}$ অথবা $\vec{E} = \frac{\sigma}{2\epsilon_0}$ [σ কুলম্ব/মিটার² এককে

প্রকাশ করতে হবে]

দেখা যাচ্ছে যে ক্ষেত্রপ্রাবল্য সুযম; পাত থেকে দূরত্বের উপর নির্ভর করে না। এটা একমাত্র সত্য যখন সমতল পাত বহুবিস্তৃত থাকে।

(iii) সুযমভাবে অহিত পাতলা গোলায় খোলকের দ্রুত ক্ষেত্র-প্রাবল্য (Field intensity due to a uniformly charged thin spherical shell) :

মনে করো, R ব্যাসার্ধের একটি পাতলা গোলায় খোলকের পৃষ্ঠে Q তড়িৎআধান সুযমভাবে বণ্টিত আছে। প্রতিসাম্যের দ্রুত বলা যায় তড়িৎবলরেখা ব্যাসার্ধ বরাবর বহির্মুখী হবে। [চিত্র 2.33]

(ক) বিন্দু খোলকের বাইরে (the point is outside the shell) :

P বিন্দু খোলকের বাইরে খোলকের কেন্দ্র থেকে r দূরে অবস্থিত ($r > R$)। P বিন্দুর ভিতর দিয়ে r ব্যাসার্ধের গোলাক (কাটা রেখা) কল্পনা করলে সেটাই গসীয় তলের কাজ করবে [চিত্র 2.33]।

এখন, খোলকের তল অতিক্রম করে মোট ফ্লাক্স $=$

$$\oint \vec{E} \cdot d\vec{s} = E \times 4\pi r^2.$$

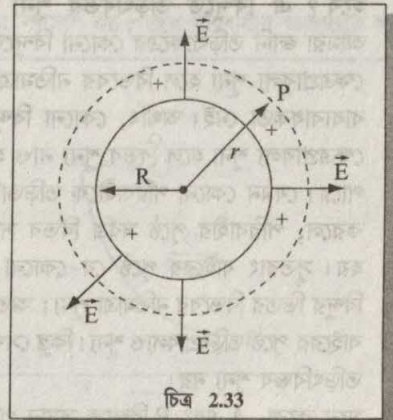
গসীয় তল কর্তৃক বেষ্টিত তড়িৎআধান $= Q$; গসীয় উপপাদ্য অনুযায়ী $\oint \vec{E} \cdot d\vec{s} = \frac{Q}{\epsilon_0}$

$$\text{অথবা } E \times 4\pi r^2 = \frac{Q}{\epsilon_0} \text{ অথবা } E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{Q}{r^2}$$

উপরোক্ত সমীকরণ থেকে সিদ্ধান্ত করা যায় যে খোলকের বাইরের কোনো বিন্দুতে ক্ষেত্র প্রাবল্যের বেলায় তড়িৎআধান খোলক এমনভাবে ব্যবহার করে যেন তার সমস্ত আধান খোলকের কেন্দ্র সংহত করা আছে।

(খ) বিন্দু খোলকের পৃষ্ঠে অবস্থিত (The point is on the surface of the shell) :

যদি P বিন্দুটি খোলকের পৃষ্ঠে অবস্থিত হয়, তবে $r = R$: সেক্ষেত্রে



$$E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{Q}{R^2} ; \text{ কিন্তু } \frac{Q}{4\pi R^2} = \text{আধানের তলমাত্রিক}$$

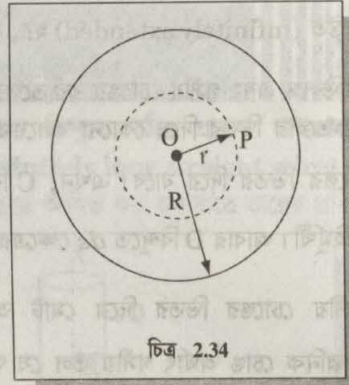
ঘনত্ব (σ)। অতএব, $E = \frac{\sigma}{\epsilon_0}$

(গ) বিন্দু খোলকের অভ্যন্তরে (The point is inside the shell):

ধরো, P বিন্দুটি খোলকের অভ্যন্তরে কেন্দ্র থেকে r দূরে অবস্থিত। এক্ষেত্রে $R > r$ । P বিন্দুর ভিতর দিয়ে কাটা কাটা রেখা দ্বারা চিহ্নিত তল এক্ষেত্রে গসীয় তল (চিত্র 2.34)।

এখানে গসীয় তলের অভ্যন্তরে কোন তড়িৎআধান না থাকায়

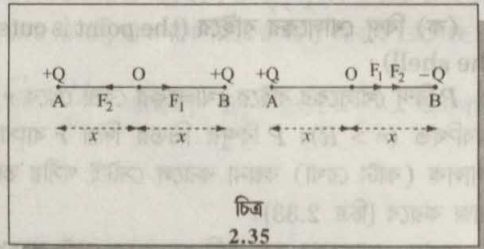
(সমস্ত আধান খোলকের বাইরের পৃষ্ঠে ছড়ানো) $\oint \vec{E} \cdot d\vec{s} = 0$ অথবা $\vec{E} = 0$ অর্থাৎ তড়িৎপ্রস্তু গোল খোলকের অভ্যন্তরে কোনো তড়িৎক্ষেত্র নেই।



চিত্র 2.34

এই পরিচ্ছেদের বিষয়বস্তু সম্পর্কে কয়েকটি প্রশ্ন (Some typical problems of this chapter)

- তড়িৎ ক্ষেত্রের কোনো বিন্দুতে ক্ষেত্রপ্রাবল্য শূন্য হলে, ঐ বিন্দুতে তড়িৎবিভব কি শূন্য হবে? ঐ বিন্দুতে তড়িৎবিভব শূন্য হলে, ক্ষেত্রপ্রাবল্যও কি শূন্য হবে?
- আমরা জানি তড়িৎক্ষেত্রের কোনো বিন্দুতে ক্ষেত্রপ্রাবল্য ঐ বিন্দুতে তড়িৎবিভবের নতিমাত্রার সমান। ক্ষেত্রপ্রাবল্য শূন্য হলে বিভবের নতিমাত্রাও শূন্য। এতে ঐ বিন্দুতে বিভব শূন্য হবে এরূপ কোনো বাধ্যবাধকতা নেই। অর্থাৎ, কোনো বিন্দুতে ক্ষেত্রপ্রাবল্য শূন্য হলে বিভব শূন্য নাও হতে পারে। যেমন কোনো পরিবাহীকে তড়িৎআধান করলে, পরিবাহীর পৃষ্ঠে সর্বত্র বিভব সমান হয়। সুতরাং বাইরের পৃষ্ঠে যে-কোনো দুই বিন্দুর ভিতর বিভবের নতিমাত্রা শূন্য; অতএব বাইরের পৃষ্ঠে তড়িৎপ্রাবল্যও শূন্য। কিন্তু সেখানে তড়িৎবিভব শূন্য নয়।



চিত্র 2.35

মনে করো, A এবং B বিন্দুতে সমান পরিমাণ ধনাত্মক তড়িৎ $+Q$ রাখা আছে [চিত্র 2.35]। AB রেখার মধ্যবিন্দু O-এর দূরত্ব A এবং B হতে x ; A বিন্দুতে অবস্থিত $+Q$ তড়িৎআধানের জন্য O

বিন্দুতে প্রাবল্য $F_1 = \frac{Q}{4\pi\epsilon_0 x^2}$ এবং এর অভিমুখ \vec{OB} বরাবর। একইভাবে B বিন্দুতে অবস্থিত $+Q$

তড়িৎআধানের জন্য O বিন্দুতে প্রাবল্য $F_2 = \frac{Q}{4\pi\epsilon_0 x^2}$ এর অভিমুখ \vec{OA} বরাবর। কাজেই O

বিন্দুতে লব্ধ প্রাবল্য $= F_1 - F_2 = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \left(\frac{Q}{x^2} - \frac{Q}{x^2} \right) = 0$ । কিন্তু O বিন্দুর মোট বিভব

$= \frac{Q}{4\pi\epsilon_0 x} + \frac{Q}{4\pi\epsilon_0 x} = \frac{2Q}{4\pi\epsilon_0 x}$; সুতরাং O বিন্দুতে লব্ধ প্রাবল্য শূন্য হলেও বিভব শূন্য

হয় না। আবার ধরো, A বিন্দুতে Q পরিমাণ ধনাত্মক আধান এবং B বিন্দুতে সমপরিমাণ ঋণাত্মক আধান $-Q$ রাখা আছে [চিত্র 2.35 (ii)]

মধ্যবিন্দু O-তে $+Q$ আধানের জন্য প্রাবল্য $F_1 = \frac{Q}{4\pi\epsilon_0 x^2}$ এবং এর অভিমুখ \vec{OB} বরাবর।

তেমনি, B বিন্দুর $-Q$ আধানের জন্য O বিন্দুর প্রাবল্য $F_2 = \frac{Q}{4\pi\epsilon_0 x^2}$ এবং এর অভিমুখও

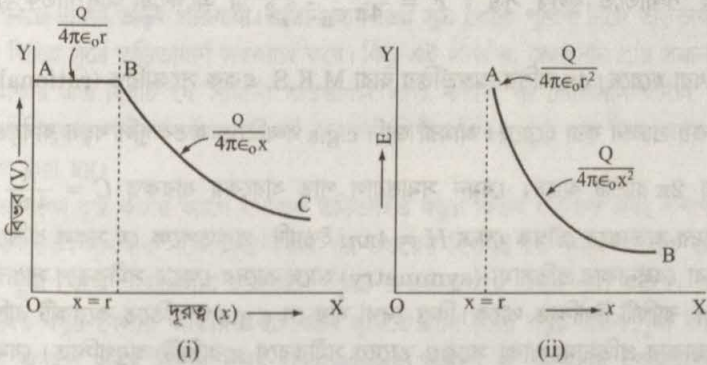
\vec{OB} বরাবর। অতএব, O বিন্দুর লব্ধ প্রাবল্য $= \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \left(\frac{Q}{x^2} + \frac{Q}{x^2} \right) = \frac{2Q}{4\pi\epsilon_0 x^2}$; কিন্তু O

বিন্দুর মোট বিভব $= \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \left(\frac{Q}{x} - \frac{Q}{x} \right) = 0$ । একইভাবে AB রেখার লম্বদ্বিখল্লকের উপর যে-

কোনো বিন্দুতে কিছু লব্ধ প্রাবল্য পাওয়া যাবে কিন্তু বিভব হবে শূন্য। কাজেই দেখা যাচ্ছে যে, কোনো বিন্দুতে বিভব শূন্য হলে সেখানে ক্ষেত্রপ্রাবল্য শূন্য নাও হতে পারে।

2. একটি গোলাকার ফাঁপা পরিবাহীকে তড়িতাহিত করা হল। পরিবাহীর ভিতরে এবং বাইরে তড়িৎবিভব ও ক্ষেত্রপ্রাবল্য গোলকের কেন্দ্র হতে দূরত্বের সাথে কীভাবে পরিবর্তিত হবে লেখচিত্রের সাহায্যে ব্যাখ্যা করো।

● আমরা জানি, ফাঁপা পরিবাহীর অভ্যন্তরস্থ সকল বিন্দুতে তড়িৎবিভব সমান এবং তা পরিবাহীর পৃষ্ঠস্থ বিভবের সমান। যদি পরিবাহীর তড়িতাধান হয় Q এবং ব্যাসার্ধ হয় r তবে পরিবাহীর অভ্যন্তরে সর্বত্র



চিত্র 2.36

এবং পৃষ্ঠে তড়িৎবিভব $V = \frac{Q}{4\pi\epsilon_0 r}$ । সুতরাং কেন্দ্র হতে পৃষ্ঠ পর্যন্ত বিভব ধ্রুবক। এটা OX অক্ষের

সমান্তরাল AB রেখা দ্বারা দেখানো হয়েছে। [চিত্র 2.36 (i)]। পরিবাহীর বাইরের কোনো বিন্দুর দূরত্ব

(কেন্দ্র হতে) x হলে, সেখানে বিভব $V = \frac{Q}{4\pi\epsilon_0 x}$; অতএব, দূরত্ব x বৃদ্ধি পেলে বিভব হ্রাস পাবে।

এই হ্রাস আয়তাকার পরাবৃত্তের অংশ BC দ্বারা দেখানো হয়েছে।

ফাঁপা পরিবাহীর অভ্যন্তরে পরিবাহীর তড়িৎের দ্রুত ক্ষেত্রপ্রাবল্য শূন্য। পরিবাহীর ব্যাসার্ধ r হলে, পৃষ্ঠদেশে বা পৃষ্ঠের খুব নিকটবর্তী বিন্দুতে ক্ষেত্র প্রাবল্য $E = \frac{Q}{4\pi\epsilon_0 r^2}$ । পরিবাহীর বাইরের কোনো বিন্দুর দূরত্ব

x হলে, সেখানে প্রাবল্য $E = \frac{Q}{4\pi\epsilon_0 x^2}$ । এই সমীকরণ হতে বোঝা যায় যে পরিবাহীর পৃষ্ঠে

ক্ষেত্রপ্রাবল্য সর্বোচ্চ এবং পরিবাহী হতে যতদূরে যাওয়া যাবে প্রাবল্য দ্রুত হ্রাস পাবে। এই পরিবর্তন লেখচিত্রের সাহায্যে 2.36 (ii) নং চিত্রে দেখানো হয়েছে। $x = r$ পর্যন্ত প্রাবল্য শূন্য। তারপর প্রাবল্য সর্বোচ্চ হয় এবং পরে x বৃদ্ধির সঙ্গে প্রাবল্য দ্রুত হ্রাস পায় (লেখ চিত্রের AB অংশ)।

3. কোনো বিন্দুতে Q পরিমাণ আধান বসানো আছে। Q -আধানের চারিদিকে r ব্যাসার্ধের একটি বৃত্ত বরাবর একক মাত্রার একটি ধনাত্মক আধান এক পাক ঘুরিয়ে আনলে কত কার্য করা হবে?

• r ব্যাসার্ধের বৃত্তের কেন্দ্রে অবস্থিত Q আধানের জন্য, বৃত্তের পরিধির যে-কোনো বিন্দুতে তড়িৎবিভব

$V = \frac{Q}{4\pi\epsilon_0 r}$ অর্থাৎ বৃত্তের পরিধি একটি সমবিভব পথ; এই পথের যে-কোনো দুই বিন্দুর ভিতর

বিভব-পার্থক্য হবে শূন্য। অতএব, একক মাত্রার একটি ধনাত্মক আধানকে পরিধি বরাবর এক পাক ঘুরিয়ে আনলে কৃতকার্য = প্রথম ও শেষ বিন্দুর ভিতর বিভব পার্থক্য = 0।

4. কুলম্ব সূত্রে আনুপাতিক ধ্রুবসংখ্যা k -এর পরিবর্তে $4\pi\epsilon_0$ ধরা হয়। 4π রাশিটির অন্তর্ভুক্তির কারণ কি?

• এস্. আই পদ্ধতিতে কুলম্ব সূত্র : $F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{q_1 q_2}{r^2}$ । এক্ষেত্রে আনুপাতিক ধ্রুবসংখ্যাকে

$\frac{1}{4\pi\epsilon_0}$ ধরা হয়েছে। 4π রাশির অন্তর্ভুক্তির দ্বারা M.K.S. একক সংস্কারিত (rationalised) করে

S.I. এককের প্রচলন করা হয়েছে। আমরা জানি c.g.s পদ্ধতিতে কতকগুলি বহুল ব্যবহৃত সমীকরণে

4π অথবা 2π রাশিটি আসে; যেমন সমান্তরাল পাত ধারকের ধারকত্ব $C = \frac{A}{4\pi d}$; তড়িৎবাহী

সলিনয়েডের অভ্যন্তরে চৌম্বক ক্ষেত্র $H = 4\pi ni$ ইত্যাদি। প্রকৃতপক্ষে যে সকল রাশিতে গোলাীয়,

বৃত্তাকার বা বেলনাকার প্রতিসাম্য (symmetry) আছে তাদের ক্ষেত্রে সমীকরণে সাধারণভাবে 4π

অথবা 2π রাশিটি উপস্থিত থাকে। কিন্তু দেখা যায় যে c.g.s পদ্ধতিতে কয়েকটি রাশির গোলাীয়

অথবা বৃত্তাকার প্রতিসাম্য থাকা সত্ত্বেও তাদের সমীকরণে π রাশিটি অনুপস্থিত। যেমন, i তড়িৎ

বাহী ঋজু পরিবাহীর চতুর্দিকে বৃত্তাকার চৌম্বক ক্ষেত্রের প্রাবল্য $H = \frac{2i}{r}$ এবং গোলাীয় ধারকের

ধারকত্ব $C = \frac{a \cdot b}{a - b}$ ইত্যাদি।

উপরোক্ত সমীকরণগুলির অসংগতি দূর করে এবং সর্বপ্রকার প্রতিসাম্যবিশিষ্ট রাশিগুলির সমীকরণে

π রাশির উপস্থিতি আবশ্যিক করে তড়িৎ ও চৌম্বক রাশির এককগুলি নতুনভাবে সংজ্ঞায়িত বা

সংস্কারিত করার প্রয়োজনে এস্. আই পদ্ধতিতে আনুপাতিক ধ্রুবসংখ্যাকে k -এর পরিবর্তে $4\pi\epsilon_0$

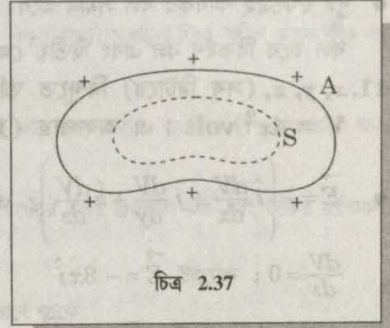
ধরা হয়েছে। এজন্য সংস্কারিত M.K.S. পদ্ধতি S.I. পদ্ধতি নামে প্রচলিত।

5. দুটি ফাঁপা পরিবাহীকে ধনাত্মক তড়িৎে আহিত করা হল। ছোটোটির বিভব 50V এবং বড়োটির বিভব 100V। এদের কীভাবে রেখে পরস্পরকে তার দিয়ে যুক্ত করলে ছোটো পরিবাহী হতে বড়ো পরিবাহীতে ধনাত্মক তড়িৎ প্রবাহিত হবে?

- সাধারণত উচ্চবিভবযুক্ত পরিবাহী হতে ধনাত্মক তড়িৎ নিম্নবিভবযুক্ত পরিবাহীতে প্রবাহিত হয়। কিন্তু আমরা একথাও জানি যে, একক পরিবাহীর তড়িতাধান সর্বদা পরিবাহীর ওপর পৃষ্ঠে অবস্থান করে; ভিতরের পৃষ্ঠে থাকে না। সুতরাং ছোটো পরিবাহীকে যদি বড়ো পরিবাহীর অভ্যন্তরে রেখে তাদের তার দিয়ে যুক্ত করা যায় তবে তারা একক পরিবাহীতে পরিণত হবে। এ অবস্থায় ছোটো পরিবাহীর ধনাত্মক তড়িৎ বড়ো পরিবাহীতে চলে আসবে।

- গ্যাসের উপপাদ্যের সাহায্যে প্রমাণ করো যে কোনো ফাঁপা পরিবাহীকে তড়িতাধান সরবরাহ করলে সেই আধান সম্পূর্ণরূপে পরিবাহীর উপরের পৃষ্ঠে অবস্থান করে।

- ধরো, A একটি ফাঁপা পরিবাহী। পরিবাহীকে কিছু আধান সরবরাহ করা হল। মনে করো, S একটি গসীয় তল যেটি পরিবাহীর সম্পূর্ণ অভ্যন্তরে আছে [চিত্র 2.37]। আমরা জানি যে-কোনো পরিবাহীর অভ্যন্তরে তড়িৎ ক্ষেত্রপ্রাবল্য শূন্য। অতএব S তলের প্রতিটি বিন্দুতে প্রাবল্য $E = 0$; ফলে, E ক্ষেত্রের দরুন S তল অতিক্রম করে বহির্মুখী অভিলম্ব ফ্লাক্স $= 0$; তাহলে গ্যাস উপপাদ্য অনুযায়ী S-তলের অভ্যন্তরে মোট তড়িতাধান শূন্য। সুতরাং পরিবাহীকে সরবরাহ করা সম্পূর্ণ তড়িতাধান পরিবাহীর বহিঃপৃষ্ঠে অবস্থান করে।



চিত্র 2.37

- পৃথিবীর বিভব শূন্য—এই উক্তি ব্যাখ্যা করো। ধনাত্মক ও ঋণাত্মক তড়িতাহিত দুটি বস্তুকে পৃথকভাবে পৃথিবীর সাথে যুক্ত করা হল। যুক্ত করার আগে ও পরে তাদের বিভব কত হবে?

- পৃথিবী নিজে একটি তড়িৎ পরিবাহী। প্রতিনিয়ত বিভিন্ন সূত্র থেকে পৃথিবী নিজে তড়িতাধান লাভ করে; আবার বিভিন্ন সূত্রে তড়িতাধান সরবরাহ করে। কিন্তু এই লাভ বা লোকসান প্রায় সমান। তাছাড়া পৃথিবীর আকার এত বিরাট যে সামান্য তড়িতাধান লাভ করলে বা লোকসান ঘটলে পৃথিবীর তড়িৎ বিভবের কিছুমাত্র পরিবর্তন হয় না। এই কারণে পৃথিবীর বিভব শূন্য ধরে নিয়ে অন্যান্য বস্তুর বিভব পরিমাপ করা হয়।

- পৃথিবীর সঙ্গে যুক্ত করার আগে ধনাত্মক তড়িতাহিত বস্তুর বিভব ধনাত্মক এবং ঋণাত্মক তড়িতাহিত বস্তুর ঋণাত্মক। পৃথিবীর সঙ্গে যুক্ত করার পর উভয়ের বিভবই হয় শূন্য। ধনাত্মক তড়িতাহিত বস্তুর বেলায় ভূমি থেকে প্রয়োজনীয় ইলেকট্রন বস্তুতে প্রবাহিত হয়ে বিভব শূন্য করবে; আবার ঋণাত্মক তড়িতাহিত বস্তুর বেলায় অতিরিক্ত ইলেকট্রন ভূমিতে চলে গিয়ে বস্তুর বিভব শূন্য করবে।

- কোনো অঞ্চলে সর্বত্র বিভব স্থির (constant) আছে। ঐ অঞ্চলের ক্ষেত্রপ্রাবল্য কী হবে?

- আমরা জানি, ক্ষেত্রপ্রাবল্য $E = -\frac{dV}{dx}$ = বিভবের নতিমাত্রা। এখন বিভব স্থির থাকলে,

$$\frac{dV}{dx} = 0 \text{ অতএব ঐ অঞ্চলের ক্ষেত্রপ্রাবল্য শূন্য অথবা ঐ অঞ্চলে কোনো তড়িৎক্ষেত্র নেই।}$$

- দুটি বিন্দু তড়িতাধান q_1 এবং q_2 -কে পারস্পরিক r দূরত্বে (i) প্রথমে বায়ুতে (ii) পরে জলের ভিতর রাখা হল। কোন্ ক্ষেত্রে তাদের পারস্পরিক বল বেশি হবে এবং কেন?

- বায়ুতে পারস্পরিক বল $F_1 = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{q_1 q_2}{r^2}$; আবার জলে পারস্পরিক বল

$$F_2 = \frac{1}{4\pi\epsilon_0 \epsilon_r} \cdot \frac{q_1 q_2}{r^2}; \text{ যেখানে } \epsilon_r = \text{জলের আপেক্ষিক ভেদনযোগ্যতা।}$$

এখন $\frac{F_1}{F_2} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{q_1 q_2}{r^2} / \frac{1}{4\pi\epsilon_0\epsilon_r} \cdot \frac{q_1 q_2}{r^2} = \epsilon_r$ যেহেতু $\epsilon_r > 1$ তাই $F_1 > F_2$ অর্থাৎ বায়ুমাধ্য পারস্পরিক বল বেশি হবে।

10. আধানযুক্ত দুটি ধাতব গোলক-কে কাছাকাছি রাখা হল। একবার দুই আধানের পরিমাণ সমান এবং উভয়ই ধনাত্মক। আর একবার দুই আধানের পরিমাণ সমান হলেও, একটির আধান ধনাত্মক কিন্তু অপরটির ঋণাত্মক। কোন্ ক্ষেত্রে দুই আধানের মধ্যে কার্যকর বল বেশি হবে?

● দুই ক্ষেত্রেই কার্যকর বল সমান হবে। কার্যকর বল $F = \frac{q \cdot q}{4\pi\epsilon_0 r^2}$ । তবে প্রথম ক্ষেত্রে কার্যকর বল হবে বিকর্ষণ বল এবং দ্বিতীয় ক্ষেত্রে হবে আকর্ষণ বল।

11. x, y, z , (সব মিটারে) বিন্দুতে তড়িৎবিভব V নিম্নলিখিত সমীকরণ থেকে পাওয়া যায়:
 $V = 4x^2$ volt। এ অবস্থায় $(1\text{m}, 0, 2\text{m})$ বিন্দুতে তড়িৎক্ষেত্র প্রাবল্য কত হবে?

● $\vec{E} = -\left(\hat{i} \frac{dV}{dx} + \hat{j} \frac{dV}{dy} + \hat{k} \frac{dV}{dz}\right)$; এখন $V = 4x^2$ হওয়ায় $\frac{dV}{dx} = 8x$; $\frac{dV}{dy} = 0$ এবং $\frac{dV}{dz} = 0$; কাজেই $\vec{E} = -8x\hat{i}$

এখন, $(1\text{m}, 0, 2\text{m})$ বিন্দুতে $\vec{E} = -8$ volt/m.

12. $+Q$ এবং $-Q$ দুটি বিন্দু তড়িতাধানকে a দূরত্বে রাখা হল। কোন্ কোন্ বিন্দুতে তড়িৎ ক্ষেত্রের লম্ব প্রাবল্য তড়িতাধান দুটির সংযোগ রেখার সমান্তরাল হবে?

● সংযোগ রেখার লম্ব-দ্বিখণ্ডকের উপর অবস্থিত সকল বিন্দুতে লম্ব তড়িৎক্ষেত্রপ্রাবল্য সংযোগ রেখার সমান্তরাল হবে।

13. বলরেখার শুরু ও শেষ কি একই পরিবাহীতে হতে পারে?

● বলরেখার ধর্ম হচ্ছে সর্বদা ধনাত্মক আধান থেকে নির্গত হয়ে ঋণাত্মক আধানে গিয়ে শেষ হওয়া। একই পরিবাহীতে দুরকম আধান থাকা সম্ভব হলে, কোনো বলরেখার শুরু ও শেষ একই পরিবাহীতে হতে পারে।

14. তড়িতাধানের কোয়ান্টায়ন কাকে বলে?

● প্রকৃতিতে তড়িতাধান বিদ্যমান থাকে একটি নির্দিষ্ট ন্যূনতম আধানের অখণ্ড গুণিতক (integral multiple) রূপে। এই গুণিতক পজিটিভ বা নেগেটিভ হতে পারে। নির্দিষ্ট ন্যূনতম আধানের পরিমাণ হচ্ছে একটি ইলেকট্রনের আধানের সমান। অর্থাৎ কিছু পরিমাণ আধান ইলেকট্রনীয় আধানের n গুণ হবে যেখানে $n = 1, 2, 3, \dots$ ইত্যাদি। n এর মান ভগ্নাংশে হয় না। এই ঘটনাকে তড়িতাধানের কোয়ান্টায়ন বলা হয়।

15. একটি অন্তরক পদার্থে ইলেকট্রনের সংখ্যা একটি পরিবাহী পদার্থের ইলেকট্রন সংখ্যার সমান। তাহলে, অন্তরক ও পরিবাহীর ভিতর মূল পার্থক্য কী?

● মূল পার্থক্য : (1) অন্তরক পদার্থের ইলেকট্রনগুলি ঐ পদার্থের পরমাণুর সঙ্গে দৃঢ়ভাবে আবদ্ধ; আর পরিবাহী পদার্থের ইলেকট্রনগুলি পদার্থের পরমাণুর সঙ্গে আলগাভাবে আবদ্ধ।

(2) অন্তরক পদার্থে বিভবপ্রভেদ প্রয়োগ করলে, ইলেকট্রনগুলির কোনো অণুপ্রবাহ (drift velocity) থাকে না। ফলে, অন্তরক পদার্থ দিয়ে কোনো তড়িৎ-প্রবাহ যায় না। পরিবাহী পদার্থে বিভব-প্রভেদ প্রয়োগ করলে, পদার্থের ইলেকট্রনগুলির অণুপ্রবাহ সৃষ্টি হয়। ফলে পরিবাহী পদার্থ দিয়ে তড়িৎ প্রবাহের চলে যায়।

16. তড়িৎ ক্ষেত্রে একটি তড়িৎ-দ্বিমেরুকে কীভাবে রাখলে তার উপর ক্রিয়ারত টর্ক সর্বাধিক হবে? ঐ সর্বাধিক টর্কের মান কত?

- \vec{p} দ্বিমেরু ভ্রামক যুক্ত একটি তড়িৎদ্বিমেরু \vec{E} তড়িৎক্ষেত্রে অবস্থিত হলে, তার উপর ক্রিয়ারত টর্ক $\tau = p \cdot E \cdot \sin \theta$; স্পষ্টত τ সর্বাধিক মান পাবে যখন $\sin \theta = 1$ অথবা $\theta = 90^\circ$; কাজেই তড়িৎ-দ্বিমেরুকে তড়িৎক্ষেত্রের অভিমুখের সঙ্গে সমকোণে রাখলে, তার উপর ক্রিয়ারত টর্ক হবে সর্বাধিক। সর্বাধিক টর্কের মান $\tau_{\max} = p \cdot E$ ।



প্রশ্নাবলি



→ রচনাধর্মী প্রশ্ন

1. দুটি বিন্দু আধানের ভিতর পারস্পরিক বল সংক্রান্ত কুলম্বের সূত্র বিবৃত করো। আধানের স্থির-তড়িৎ একক কী? এর ব্যবহারিক একক কী? এই দুই এককের ভিতর সম্পর্ক কী?
2. বিন্দু তড়িৎআধানের (+q) জন্য r দূরত্বে বিভব = $\frac{q}{4\pi\epsilon_0 r}$; এটা প্রমাণ করো। একাধিক বিন্দু আধানের জন্য বিভবের মান কত?
3. তড়িৎ-দ্বিমেরু কাকে বলে? সুখম তড়িৎক্ষেত্রে একটি তড়িৎ-দ্বিমেরুর উপর ক্রিয়াশীল বল এবং টর্কের রাশিমালা নির্ণয় করো।
4. তড়িৎ বলরেখা কাকে বলে? এদের বৈশিষ্ট্য কি?
5. দেখাও যে তড়িৎ বলরেখা ও সমবিভব তল পরস্পরের লম্বভাবে থাকে।
6. সমবিভব তল বলতে কি বোঝ? একটি তড়িৎআহিত পরিবাহীর পৃষ্ঠ সমবিভব তল—এটা কীরূপে প্রমাণ করবে? প্রমাণ কর যে তড়িৎ ক্ষেত্রের কোনো বিন্দুতে প্রাবল্য ঐ বিন্দুর মধ্য দিয়ে অঙ্কিত সমবিভবতলের সাথে সমকোণে অবস্থান করে।
7. নাশপাতি আকারের (pear shaped) পরিবাহীর তলের বিভিন্ন বিন্দুতে (i) আধানের তলমাত্রিক ঘনত্ব (ii) তড়িৎ ক্ষেত্র-প্রাবল্য এবং (iii) বিভব কীরূপভাবে পরিবর্তন করে তা বল। (i) এবং (ii) নং ক্ষেত্রে তোমার উত্তরের সপক্ষে পরীক্ষা বিবৃত করো।
8. তড়িৎআহিত গোলকের নিকবর্তী বিন্দুতে তড়িৎক্ষেত্র গোলকের ব্যাসার্ধের ওপর নির্ভর করে না, কিন্তু গোলকের আধানের তলমাত্রিক ঘনত্বের উপর নির্ভর করে প্রমাণ করো। পরিবাহী গোলক না হলেও কি এটা প্রযোজ্য?
9. বন্ধতলের ওপর মোট অভিলম্ব আবেশ সংক্রান্ত গসের উপপাদ্য বিবৃত করো।
10. গসের উপপাদ্য প্রয়োগ করে নিম্নলিখিত ক্ষেত্রে তড়িৎ প্রাবল্য নির্ণয় করো : (i) সুখমভাবে আহিত সুদীর্ঘ ঋজু তার (ii) সুখমভাবে আহিত পাতলা গোলায় খোলক।

→ সংক্ষিপ্ত উত্তরের প্রশ্ন

1. নির্দিষ্ট দূরত্বে অবস্থিত দুটি ইলেকট্রনের ভিতর স্থির তড়িৎ বল F' হলে একই দূরত্বে অবস্থিত দুটি প্রোটনের ভিতর কত বল হবে?
2. তড়িৎ ক্ষেত্র কাকে বলে? তড়িৎ ক্ষেত্রের কোনো বিন্দুতে প্রাবল্যের সংজ্ঞা লেখো। তড়িৎ ক্ষেত্রের দিক-নির্দেশ বলতে কী বোঝ?
3. স্থির তড়িৎ ক্ষেত্রে (i) বিভব এবং (ii) ক্ষেত্র প্রাবল্য কী? এরা কি স্কেলার না ভেক্টর? তড়িৎ বিভবের ব্যবহারিক এককের সংজ্ঞা দাও।
4. (ক) আধানের তড়িৎ বিভব (খ) কোনো বিন্দুতে তড়িৎ বিভব (গ) দুই বিন্দুর ভিতর বিভব-প্রভেদ বলতে কী বোঝ?
5. বিভব-প্রভেদ ও ক্ষেত্র-প্রাবল্যের মধ্যে সম্পর্ক কী? বিভবের নতিমাত্রা বলতে কী বোঝ?
6. সমবিভব তল বলতে কী বোঝ? একটি সমবিভব তলের উপর এক বিন্দু থেকে অপর এক বিন্দুতে একক ধনাত্মক আধান সরিয়ে নিলে কত কার্য করা হয়?
7. যদি তড়িৎক্ষেত্রের কোন বিন্দুতে প্রাবল্য শূন্য হয় তবে কি ঐ বিন্দুতে বিভবও শূন্য? যদি বিভব শূন্য হয় তবে কি সেখানে প্রাবল্য শূন্য?
8. যদি তড়িৎ ক্ষেত্রের কোনো বিন্দুর প্রাবল্য জানা থাকে তবে কি ঐ বিন্দুর বিভবও জানা যায়? যদি না জানা যায়, তাহলে বিভব জানতে আর কোন রাশির প্রয়োজন হয়?

9. (a) $+q$ বিন্দু তড়িৎআধানকে কেন্দ্র করে একটি বৃত্ত আঁকা হল (চিত্র 2.38)। অন্য একটি $+q$ আধানকে প্রথমে B হতে A বিন্দুতে এবং পরে A হতে C বিন্দুতে আনা হলে, কত কার্য করা হবে?

(b) q_1 এবং q_2 দুটি বিন্দু আধান d দূরে অবস্থিত। এদের ক্ষেত্রে এমন কোনো বিন্দু নেই যেখানে তড়িৎ প্রাবল্য শূন্য। এথেকে কি সিদ্ধান্ত করা যায়?

[সংকেত : আধান দুটি সমমাত্রার কিন্তু বিপরীতধর্মী।]

10. $+q$ এবং $-q$ দুটি বিন্দু আধান d দূরে অবস্থিত। এদের দরুন শূন্য-বিভব রেখা সনাক্ত করো।

11. দুটি পরিবাহীর ভিতর বিভব-পার্থক্য অত্যন্ত বেশি। নিম্নলিখিত তিনটি অবস্থায় কী হবে?— (i) পরিবাহী দুটিকে একটি ধাতব তার দ্বারা যুক্ত করা হল, (ii) পরিবাহীর মধ্যস্থ বায়ুতে ধনাত্মক ও ঋণাত্মক উভয় প্রকার আয়নই বর্তমান, (iii) পরিবাহীর মধ্যবর্তী স্থান শূন্য।

12. তড়িৎ ক্ষেত্রের এক বিন্দু হতে অন্য এক বিন্দুতে একটি বিন্দু আধান নিয়ে যেতে যে কার্য করতে হয় তা যে-পথে বিন্দু আধান নেওয়া হল সেই পথের উপর নির্ভর করে। এ সম্বন্ধে তোমার মতামত ব্যক্ত করো।

13. $+q$ এবং $-q$ তড়িৎআধান দুটিকে d দূরে রাখা হল। কোন্ কোন্ বিন্দুতে তাদের লম্বি তড়িৎ ক্ষেত্রের অভিমুখ তড়িৎআধান দুটির সংযোগ রেখার সমান্তরাল হবে?

[সংকেত : তড়িৎ-আধান দুটির সংযোগ রেখার লম্ব দ্বিখণ্ডের উপর অবস্থিত সকল বিন্দু।]

14. একক তড়িৎআধান বলতে কী বোঝ? আধানের স্থির-তড়িৎ একক (e.s.u.) এবং ব্যবহারিক এককের মধ্যে সম্বন্ধ কি?

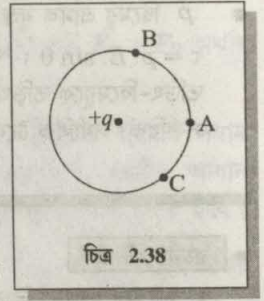
15. তড়িৎআধানের তলমাত্রিক ঘনত্বের সংজ্ঞা দাও। তড়িৎ ক্ষেত্র ও তড়িৎ বলরেখা বলতে কী বোঝ? তড়িৎ বলরেখার ধর্মগুলি কী কী?

16. একটি দীর্ঘ, ঋজু পরিবাহীর মধ্যবিন্দু ভূ-সংলগ্ন। পরিবাহীর দুই প্রান্তের বিভব-পার্থক্য 200 V হলে দুই প্রান্তের এবং মধ্যবিন্দুর বিভব কত?

[সংকেত : দুই প্রান্তীয় বিভব + 100 এবং - 100 volt; মধ্যবিন্দুর বিভব = 0]

17. পদার্থের উপস্থিতিতে দুই আধানের মধ্যে কার্যকর বল পরিবর্তিত হয়—ব্যাখ্যা করো।

18. অভিলম্ব আবেশ ও মোট অভিলম্ব আবেশ কাকে বলে? এরা কী মাধ্যমের ওপর নির্ভরশীল?



চিত্র 2.38

→ অতি সংক্ষিপ্ত উত্তরের প্রশ্ন

1. A এবং B দুটি বিন্দুর বিভব যথাক্রমে - 50 e.s.u. এবং - 10 e.s.u.। কোন্ বিন্দুর বিভব উচ্চতর? ঐ বিন্দুদ্বয়ের বিভব পার্থক্য কত?
2. 1 e.s.u. বিভবকে ভোল্টে প্রকাশ করো।
3. দুটি অন্তরিত পরিবাহী A এবং B একটি ধাতব তার দ্বারা যুক্ত। একটি ধনাত্মক তড়িৎযুক্ত দণ্ড A-এর নিকটে রাখা হল (B-এর অপর প্রান্তে)। A এবং B -এর মধ্যে বিভব-প্রভেদ কত হবে?
4. সমপরিমাণ আধানে আহিত দুটি গোলকের ব্যাসার্ধের অনুপাত 2 : 1 হলে তাদের বিভবের অনুপাত কি এবং কেন? [সংকেত : আধান সমান থাকলে, গোলকের বিভব গোলকের ব্যাসার্ধের ব্যস্তানুপাতিক। 2.18 অনুচ্ছেদ দ্রষ্টব্য।]
5. তড়িৎ ক্ষেত্রের কোনো বিন্দুতে দুটি বলরেখা পরস্পরকে ছেদ করে না কেন?
6. কোন বস্তুতলের বাইরে রাখা তড়িৎআধানের জন্য ঐ বস্তুতলে মোট অভিলম্ব আবেশ কত?
7. দ্বিমেরু ভ্রামক কাকে বলে?
8. একটি সুখম তড়িৎক্ষেত্রের দরুন বলরেখা আঁক।
9. 12.5×10^{18} ইলেকট্রনের মোট আধান কত?
10. একটি তড়িৎপ্রণু কণা একটি তড়িৎক্ষেত্রে স্বচ্ছন্দে ঘুরে বেড়াতে পারে। কণাটি কী সর্বদা তড়িৎবলরেখা বরাবর চলবে?

→ বহুমুখী পছন্দের প্রশ্ন [Multiple choice type (M.C.Q.)]

(A) নির্ভুল উত্তরটি ✓ চিহ্নিত করো :

[i] একটি একক তড়িৎআধানকে সমবিভবতলের এক বিন্দু থেকে আর এক বিন্দুতে নিয়ে গেলে

- (A) আধান কার্য করে (B) আধানের উপর কার্য করা হয়
(C) আধানের উপর কৃতকার্য ধ্রুবক (D) কোনো কার্য করা হয় না।

[ii] একটি বর্গের তিন কৌণিক বিন্দুতে +1, +2 এবং +3 esu আধান রাখা হল। চতুর্থ কৌণিক বিন্দুতে কত আধান

রাখলে বর্গের কেন্দ্রে বিন্দুতে বিভব শূন্য হবে? (বর্গের বাহু = $\sqrt{2}$ cm)

- (A) +6 esu (B) +4 esu (C) -6 esu (D) -4 esu.

[iii] $40 \mu\text{C}$ এবং $-20 \mu\text{C}$ দুটি তড়িৎআধান খানিকটা দূরে রাখা আছে। তাদের পরস্পরের সঙ্গে স্পর্শ করিয়ে আবার আণেকার দূরত্বে সরিয়ে রাখা হল। আধান দুটির ভিতর প্রাথমিক বল ও অন্তিম বল দুটির অনুপাত

- (A) 1:8 (B) 8:1 (C) 1:4 (D) 1:2.

[iv] দুটি ফাঁপা এককেন্দ্রিক গোলকের ব্যাসার্ধ r এবং R ($R > r$)। এদের ভিতর Q তড়িৎআধান এরূপভাবে বন্টিত হল যে এদের আধানের তলমাত্রিক ঘনত্ব সমান। এদের কেন্দ্রে বিভব হবে

- (A) $\frac{Q(R^2 + r^2)}{4\pi\epsilon_0(R + r)}$ (B) $\frac{Q}{R + r}$ (C) শূন্য (D) $\frac{Q(R + r)}{4\pi\epsilon_0(r^2 + R^2)}$.

[v] 5 cm ব্যাসার্ধের একটি ফাঁপা ধাতব গোলকে এরূপভাবে তড়িৎগ্রস্ত করা হল যে তার উপরপৃষ্ঠে বিভব 10V। গোলকের কেন্দ্রে বিভব হবে,

- (A) 0 (B) 10V

(C) পৃষ্ঠ থেকে 5 cm দূরের বিন্দুর বিভবের সমান (D) পৃষ্ঠ থেকে 25 cm দূরের বিন্দুর বিভবের সমান।

[vi] দুটি সমান আধান Q -এর সংযোগ রেখার মধ্যবিন্দুতে আধান q রাখা হল। এই তিনটি আধান সাম্যস্থায়ী থাকবে যদি q এর মান হয়

- (A) $-\frac{Q}{2}$ (B) $-\frac{Q}{4}$ (C) $+\frac{Q}{4}$ (D) $+\frac{Q}{2}$.

[vii] কোনো এক বিন্দুতে তড়িৎক্ষেত্র প্রাবল্য ও তড়িৎবিভব পরস্পরের সংগে সম্পর্কযুক্ত। নিম্নলিখিত সম্পর্কগুলির মধ্যে কোনটি ঠিক?

- (A) $V = \frac{dE}{dx}$ (B) $E = -\frac{dV}{dx}$ (C) $E = Vx$ (D) $V = -\frac{dE}{dx}$.

[viii] A এবং B দুটি গোলায় পরিবাহীর ব্যাসার্ধ r এবং $2r$ । এদের প্রত্যেককে q আধান দেওয়া হল। তাদের সন্নিবিষ্ট তার দ্বারা যুক্ত করলে, আধান

- (A) A থেকে B তে প্রবাহিত হবে, (B) B থেকে A-তে প্রবাহিত হবে,
(C) কোনো প্রবাহ হবে না, (D) এর কোনোটিই নয়।

[ix] তড়িৎবলরেখা কোনো সমবিভব তলকে যে কোণে ছেদ করে তার মান

- (A) 30° (B) 60° (C) 90° (D) 45° .

[x] n বাহুবিশিষ্ট একটি ঘনকের সকল কোণিক বিন্দুতে q পরিমাণ আধান রাখলে ঘনকের কেন্দ্রে তড়িৎ বিভব হবে,

- (A) $\frac{4}{\sqrt{3}\pi\epsilon_0} \cdot \frac{q}{n}$ (B) $\frac{2}{\sqrt{3}\pi\epsilon_0} \cdot \frac{q}{n}$ (C) $\frac{1}{\sqrt{3}\pi\epsilon_0} \cdot \frac{q}{n}$ (D) $\frac{4}{\sqrt{5}\pi\epsilon_0} \cdot \frac{q}{n}$.

[xi] দুটি আধানের ভিতরকার দূরত্ব বৃদ্ধি করলে, তাদের তড়িৎ বিভবশক্তি

- (A) বৃদ্ধি পায় (B) হ্রাস পায় (C) একই থাকে (D) বাড়তেও পারে কমতেও পারে।

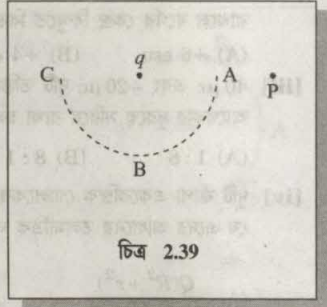
[xii] A এবং B বিন্দুতে দুইটি সমান ধনাত্মক আধান রাখা আছে। A এবং B বিন্দুর মধ্যে বিভিন্ন বিন্দুতে তড়িৎবিভব পর্যালোচনা করা হচ্ছে। A বিন্দু থেকে B পর্যন্ত গেলে তড়িৎ বিভব,

- (A) ক্রমাগত বৃদ্ধি পায়, (B) ক্রমাগত হ্রাস পায়,
(C) প্রথমে বৃদ্ধি পায়, পরে হ্রাস পায়, (D) প্রথমে হ্রাস পায়, পরে বৃদ্ধি পায়।

[xiii] একটি সুযম তড়িৎক্ষেত্রে একটি তড়িৎ দ্বিমেরু রাখা হল। দ্বিমেরুর উপর মোট তড়িৎ বল

- (A) সর্বদা শূন্য, (B) দ্বিমেরুর বিন্যাসের (orientation) উপর নির্ভর করে,
(C) কখনই শূন্য হতে পারে না, (D) দ্বিমেরুর শক্তির উপর নির্ভর করে।

- [xiv] 2.39 নং চিত্র লক্ষ্য করো। একটি বিন্দু আধানকে P থেকে A বিন্দুতে আনতে কৃতকার্য W_A , P থেকে B বিন্দুতে আনতে W_B এবং C বিন্দুতে আনতে W_C হলে
 (A) $W_A < W_B < W_C$ (B) $W_A > W_B > W_C$
 (C) $W_A = W_B = W_C$ (D) একটাও না।



চিত্র 2.39

- [xv] Q আধান কর্তৃক উৎপন্ন তড়িৎক্ষেত্রের মধ্যে একটি q বিন্দু আধানকে বৃত্তপথে ঘুরানো হল। একবার পূর্ণ ঘূর্ণনে, q আধানের উপর ক্ষেত্র কর্তৃক কৃতকার্য
 (A) শূন্য
 (B) ধনাত্মক
 (C) ঋণাত্মক
 (D) Q বৃত্তের কেন্দ্রে থাকলে শূন্য; অন্যত্র থাকলে শূন্য নয়।

- [xvi] একটি স্বর্ণপর্প তড়িৎবীক্ষণকে তড়িতাহিত করলে স্বর্ণপত্রদ্বয় বিস্তারিত হয়। কিছুক্ষণের জন্য তড়িৎবীক্ষণের উপর X-রশ্মি ফেললে

- (A) বিস্তারণ বৃদ্ধি পাবে, (B) স্বর্ণপত্রদ্বয় গলে যাবে,
 (C) বিস্তারণে কোনো পরিবর্তন হবে না, (D) বিস্তারণ থাকবে না।
 [xvii] দুটি প্রোটন কিছুদূরে থেকে যে মহাকর্ষ বল এবং স্থির তড়িতিক বিকর্ষণ বল প্রয়োগ করে তাদের অনুপাত (প্রায়)
 (A) 10^{-36} (B) 10^{36} (C) 10^{54} (D) 10^4 .

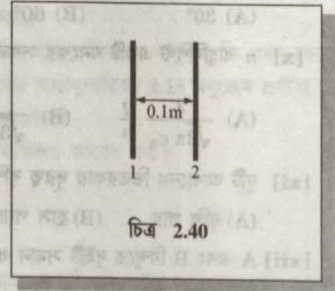
- [xviii] +10 esu, -10 esu এবং +5 esu আধান একটি সমবাহু ত্রিভুজ PQR-এর তিন কৌণিক বিন্দুতে রাখা হল। Q বিন্দুতে স্থাপিত আধানের উপর মোট বল ($PQ = QR = PR = 5$ cm)
 (A) 2 dyne (B) 2 newton
 (C) 18×10^9 newton (D) 9×10^9 dyne

- [xxix] একটি বিন্দু আধানকে একটি তড়িৎক্ষেত্রের মধ্যে আনা হল। আধানের নিকটবর্তী বিন্দুতে
 (A) ক্ষেত্র প্রাবল্য বৃদ্ধি পাবে যদি আধানটি ধনাত্মক হয়,
 (B) ক্ষেত্রপ্রাবল্য হ্রাস পাবে যদি আধান ঋণাত্মক হয়,
 (C) আধান ধনাত্মক হলে প্রাবল্য বৃদ্ধি পেতে পারে,
 (D) আধান ঋণাত্মক হলে প্রাবল্য হ্রাস পেতে পারে।

- [xx] এক বিন্দুতে ক্ষেত্র প্রাবল্য E এবং বিভব V;
 (A) যদি $E = 0$ হয় V অবশ্যই শূন্য (B) যদি $V = 0$ হয় E অবশ্যই শূন্য
 (C) যদি $E \neq 0$, V শূন্য হতে পারে না (D) যদি $V \neq 0$, E শূন্য হতে পারে না। কোনটি ঠিক?

- [xxi] একটি অসম তড়িৎক্ষেত্রের সঙ্গে 30° কোণ করে একটি তড়িৎদ্বিমেরু রাখা হল। দ্বিমেরুটি
 (A) ক্ষেত্রের অভিলম্ব দিকে রৈখিক বল অনুভব করবে,
 (B) রৈখিক বল এবং টর্ক অনুভব করবে,
 (C) কেবলমাত্র টর্ক অনুভব করবে,
 (D) ক্ষেত্রের অভিমুখে কেবল রৈখিক বল অনুভব করবে।

- [xxii] দুটি অন্তরিত প্লেট এরূপভাবে তড়িতাহিত করা আছে যে তাদের ভিতর বিভব-প্রভেদ $V_2 - V_1 = 20V$ (i.e., 2 নং প্লেট উচ্চবিভবে)। প্লেট দুটির ব্যবধান $d = 0.1$ m 1 নং প্লেট থেকে একটি ইলেকট্রনকে স্থিরাবস্থা থেকে ছেড়ে দেওয়া হল। ইলেকট্রন যে গতিবেগে 2 নং প্লেটকে আঘাত করবে তা
 (A) 7.02×10^{12} m/s (B) 1.87×10^6 m/s
 (C) 32×10^{-19} m/s (D) 2.65×10^6 m/s.



চিত্র 2.40

- [xxiii] একটি ফাঁপা পরিবাহী গোলক কিছু পরিমাণ আধান বহন করে। গোলকের অভ্যন্তরে কোন বিন্দুতে বিভব
 (A) সর্বদা শূন্য (B) সর্বদা একটি ধনাত্মক ধ্রুবক
 (C) সর্বদা একটি ঋণাত্মক ধ্রুবক (D) ধ্রুবক যার চিহ্ন আধানের চিহ্নের অনুরূপ।

- [Jt. Entrance 2006]
 [xxiv] যদি E মানের একটি সুযম তড়িৎক্ষেত্রে একটি ইলেকট্রন অবস্থিত যার আধান $-e$ এবং ভর m । E-এর মান এমনই যে ইলেকট্রনের উপর তড়িৎক্ষেত্রের জন্য বল এর ওজনের সমান। এ অবস্থায় E-এর মান

- (A) $\frac{mg}{e}$ (B) mge (C) $\frac{e}{mg}$ (D) $\frac{e}{m} \frac{g}{2}$

(B) শূন্যস্থান পূরণ করো (Fill up the gaps) :

- [i] r ব্যাসার্ধের একটি তারের রিংকে Q তড়ি়াধান দেওয়া হল। রিং-এর কেন্দ্রে q তড়ি়াধান রাখলে রিংয়ের টান পরিমাণ বৃদ্ধি পাবে।
- [ii] Q তড়ি়াধানকে q এবং $(Q - q)$ দুই অংশে বিভক্ত করা হল। অংশ দুটিকে পরস্পর থেকে কিছু দূরে রাখলে তাদের ভিতর বিকর্ষণ বল সর্বাধিক হবে যদি Q এবং q -এর ভিতর সম্পর্ক হয় _____।
- [iii] 2 cm ব্যাসার্ধের একটি ফাঁপা ধাতব গোলককে 20 coulomb তড়ি়ে আহিত করা হল। গোলকের ভিতরের পৃষ্ঠে এবং বাইরের পৃষ্ঠে আধানের তলমাত্রিক ঘনত্ব হবে যথাক্রমে _____ এবং _____।
- [iv] $+q, -4q$ এবং $+2q$ ($q = 1\mu c$) তড়ি়াধানকে একটি সমবাহু ত্রিভুজের তিন কৌণিক বিন্দুতে রাখা হল। ত্রিভুজের বাহুর দৈর্ঘ্য 0.5 metre। আধানগুলির পারস্পরিক তড়িৎ স্থিতিশক্তি _____।
- [v] প্রত্যেকটি $2\mu c$ এরূপ তিনটি তড়ি়াধানকে ABC ত্রিভুজের তিন কৌণিক বিন্দুতে রাখা হল। $AC + BC = 12$ cm এবং $AB \times BC = 32$ cm²; তাহলে C বিন্দুর বিভব হবে _____।

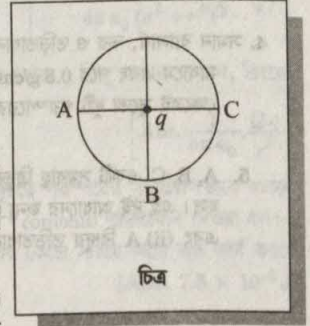
[সংকেত : $V_C = \frac{2 \times 10^{-6}}{4\pi \epsilon_0} \left(\frac{1}{AC} + \frac{1}{BC} \right)$]

[vi] S.I. পদ্ধতিতে তড়িৎক্ষেত্রের প্রাবল্যের একক _____।

[vii] r ব্যাসার্ধের একটি গোলককে বায়ুতে রেখে Q কুলম্ব তড়ি়াধান দেওয়া হল। গোলকের নিকটবর্তী বিন্দুতে ক্ষেত্রপ্রাবল্য _____।

(C) ভুল কি নির্ভুল বিচার করো (True or false type) :

- [i] বিভবপার্থক্যকে ওয়াট / অ্যাম্পিয়ার এককে প্রকাশ করা যায়।
- [ii] এক বিন্দু থেকে অপর কোনো বিন্দুতে তড়ি়াধানকে স্থানান্তরিত করতে যে কার্যের প্রয়োজন তা বিন্দু দুটির ভিতর পথের উপর নির্ভর করে।
- [iii] ইলেকট্রন উচ্চ বিভব অঞ্চল থেকে নিম্নবিভব অঞ্চলে গমন করে।
- [iv] শূন্য দেশে (space) কোনো বিন্দুতে তড়িৎক্ষেত্র শূন্য হলেও বিভব শূন্য না হতেও পারে।
- [v] একটি পরিবাহীর পরাবৈদ্যুতি ধ্রুবকের মান শূন্য।
- [vi] দুটি কাছাকাছি রাখা পরিবাহী একই ধনাত্মক আধানগ্রস্ত হলেও, তাদের ভিতর বিভব-পার্থক্য সম্ভব।
- [vii] সাধারণভাবে পৃথিবীর বিভব শূন্য ধরা হয়। এর অর্থ এই যে পৃথিবীর কোনো নীট (net) আধান নেই।
- [viii] 2.41 নং চিত্রে প্রদর্শিত বৃত্তের কেন্দ্রে ধনাত্মক আধান q রাখা আছে। একটি একক ধনাত্মক আধানকে A থেকে C-তে নিতে যে কার্য করা হয় তা A থেকে B তে নিতে কৃতকার্য অপেক্ষা বেশি।



গাণিতিক প্রশ্ন

- আয়রন নিউক্লিয়াসের ভিতর দুটি প্রোটনের মধ্যে কত কুলম্ব বিকর্ষণ বল ক্রিয়া করে? দূরত্ব $= 4 \times 10^{-15}$ m এবং আধান $= 1.6 \times 10^{-9}$ C. [Ans. 14.4 N]
- 0.33×10^{-7} coulomb তড়ি়াধানকে একটি তড়িৎ ক্ষেত্রে কোনো বিন্দুতে রাখলে, সে 10^{-3} newton বল অনুভব করে। ঐ বিন্দুর ক্ষেত্র প্রাবল্য কত? [Ans. 300 volt/m]
- 20 e.s.u. আধান বিশিষ্ট একটি বিন্দু একটি পুরু অন্তরিত ধাতব গোলায় খোলকের কেন্দ্রে অবস্থিত আছে। গোলায় খোলকের ভিতরের ও বাইরের ব্যাসার্ধ যথাক্রমে 10 এবং 12 cm। খোলকটির নিট আধান শূন্য। কেন্দ্র হতে 5 cm, 11 cm এবং 15 cm দূরের বিন্দুগুলিতে তড়িৎ প্রাবল্য নির্ণয় করো। বিন্দু আধান ও খোলকের মধ্যে কী বল ক্রিয়াশীল? [Ans. 0.8 dyne; 0; 0.088 dyne; 0]
- A এবং B দুটি বিন্দুর দূরত্ব $2d$ । বিন্দু দুটির প্রত্যেকটিতে $+Q$ মানযুক্ত একটি করে আধান রাখা হল। P, A এবং B-র মধ্যবিন্দু। P বিন্দুতে তড়িৎ ক্ষেত্রের প্রাবল্য ও বিভব কত? যদি B বিন্দুতে আধানটি পরিবর্তন করে $-Q$ করা হয়, তবে ঐ রাশিগুলির মান কীরূপ পরিবর্তিত হবে? [Ans. 0; $2Q/d$; $2Q/d^2$; 0]

5. একটি তড়িৎ ক্ষেত্রের দুটি বিন্দুতে বিভবের পরিমাণ যথাক্রমে 400 volt এবং 1000 volt। 3×10^{-8} coulomb পরিমাণ ধনাত্মক আধান ঐ বিন্দু দুটির একটি হতে অপরটিতে নিয়ে যেতে কি পরিমাণ কার্য করতে হবে?

[Ans. 18×10^{-6} J]

6. দুটি ক্ষুদ্র অন্তরিত গোলককে পরস্পরের সঙ্গো ঘষে 1 cm দূরত্বে বসানো হল। তারা যদি পরস্পরকে 0.1 N বলে আকর্ষণ করে তবে ঘর্ষণের ফলে এক গোলক হতে অন্য গোলকে কয়টি ইলেকট্রন স্থানান্তরিত হল? $e = 1.6 \times 10^{-19}$ কুলম্ব।

[Ans. 2×10^{11}]

7. 2 mm ব্যাসবিশিষ্ট ও 5 মাইক্রোস্ট্যাটকুলম্ব তড়িৎযুক্ত আটটি গোলাকার তরলবিন্দু একত্রীভূত করা হল। ঐ যুক্ত গোলকের উপরিতলের বিভব ভোল্টে প্রকাশ করো।

[Ans. 6×10^{-2} V]

8. আলফা কণার তড়িৎআধান $+3.2 \times 10^{-19}$ coulomb। 8000 N/C তড়িৎ ক্ষেত্রে ঐ আলফা কণা কত বল অনুভব করবে?

[Ans. 2.56×10^{-15} N]

9. দুটি তড়িৎআধান কণার প্রত্যেকটিতে 2×10^{-6} C তড়িৎআধান আছে। তাদের 1 m দীর্ঘ একটি সুতো দ্বারা যুক্ত করে মসৃণ টেবিলের ওপর রাখা হল। সুতোর টান নির্ণয় করো।

[Ans. 3.6×10^{-6} N]

কঠিনতর গাণিতিক প্রশ্ন

1. একটি সমবাহু ত্রিভুজের তিন শীর্ষবিন্দু A, B, C-য়থাক্রমে -1, 2 এবং $3 \mu\text{C}$ তড়িৎআধান রাখা হল। ত্রিভুজের প্রত্যেক বাহুর দৈর্ঘ্য 200 cm. BC বাহুর মধ্যবিন্দু P-তে (i) বিভব এবং (ii) ক্ষেত্র প্রাবল্য নির্ণয় করো।

[Ans. (i) 40×10^3 volt (ii) 9.5×10^3 V/m; $18^\circ 25'$ কোণে]

2. 80 mg ভরের একটি দোলকপিণ্ড 2×10^{-8} coulomb তড়িৎআধান বহন করে। একটি 20,000 volt/metre অনুভূমিক তড়িৎ ক্ষেত্রে দোলকপিণ্ডটি স্থির আছে। দোলক সুত্রের টান ও উল্লম্বের সাথে সুত্রের কোণ নির্ণয় করো।

$$g = 10 \text{ m/s}^2.$$

[Ans. 8.8×10^{-4} N (প্রায়); $\tan^{-1} \frac{25}{49}$]

3. 2×10^{-6} কুলম্ব তড়িৎআধানযুক্ত এবং 100 g ভরের একটি কণা (A) 30° কোণে আনত একটি নততলের তলায় রাখা আছে। অনুরূপ আর একটি কণা B-কে নততলের কোথায় রাখলে তা ঐ অবস্থানে স্থির থাকবে?

[Ans. তল হতে 27 cm দূরে]

4. সমান ব্যাসার্ধ, ভর ও তড়িৎআধানযুক্ত দুটি গোলককে সুতো দ্বারা এক বিন্দু হতে ঝুলানো হল। প্রথমে গোলকদ্বয় শূন্য মাধ্যমে এবং পরে 0.8 g/cm^3 ঘনত্বের এবং 3 পরা-বৈদ্যুতিক ধ্রুবকের একটি তরলে নিমজ্জিত রাখা হল। উভয় ক্ষেত্রেই সুতো দুটি পরস্পরের সঙ্গো একই কোণ করে রইল। গোলকের উপাদানের ঘনত্ব নির্ণয় করো।

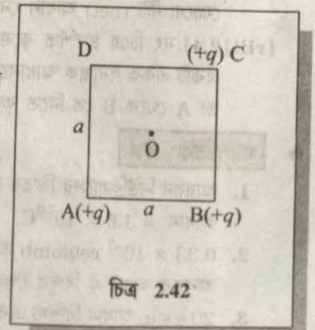
[Ans. 1.2 g/cm^3]

5. A, B, C একটি সমবাহু ত্রিভুজের শীর্ষবিন্দু। প্রত্যেক বাহুর দৈর্ঘ্য a । A এবং B বিন্দুতে সমান তড়িৎআধান q রাখা হল। এই দুই আধানের জন্য C বিন্দুতে বিভব এবং ক্ষেত্র প্রাবল্য নির্ণয় করো যখন (i) উভয় তড়িৎআধান ধনাত্মক এবং (ii) A বিন্দুর তড়িৎআধান ধনাত্মক কিন্তু B-র তড়িৎআধান ঋণাত্মক।

[Ans. (i) $E = \frac{\sqrt{3}q}{a^2}$; $V = \frac{2q}{a}$ (ii) $E = \frac{q}{a^2}$ ও AB রেখার সমান্তরাল $V = 0$]

6. একটি বর্গাকার ক্ষেত্রের (চিত্র 2.42) তিনটি কৌণিক বিন্দুর প্রত্যেকটিতে $+q$ আধান রাখা হল। ক্ষেত্রটির কেন্দ্রবিন্দুতে (O) তড়িৎ প্রাবল্যের মান কি হবে? কোন্ দিকে ক্রিয়া করবে?

[Ans. $\frac{q}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{a}{\sqrt{2}}$; কর্ণ বরাবর]



চিত্র 2.42

7. দুটি সমান ও সমান্তরাল প্লেটকে কিছু পারস্পরিক উচ্চতায় অনুভূমিক অবস্থায় রাখা আছে। নীচের প্লেটের ছিদ্র দিয়ে একটি ইলেকট্রন প্লেটের দৈর্ঘ্যের অভিলম্বভাবে $6 \times 10^8 \text{ cm/s}$ বেগ সহ প্লেট দুটির মধ্যবর্তী অঞ্চলে উপস্থিত হল। নীচের প্লেটটি ভূ-সংলগ্ন রেখে উপরের প্লেটকে কত বিভব দিলে ইলেকট্রনকে ওপরের প্লেটে পৌঁছাতে ঠিক বাধা দেওয়া হবে? ইলেকট্রনের $e/m = 1.8 \times 10^{18} \text{ coulomb/g}$.

[সংকেত: $\frac{1}{2}mv^2 = Ve$; $V =$ প্লেট দুটির বিভব পার্থক্য]

[Ans. 100 volt.]

8. একটি বর্গের চার কোণায় যথাক্রমে q_1, q_2, q_3 এবং q_4 তড়িতাধান রাখা হল। বর্গের বাহুর দৈর্ঘ্য $a = 1$ metre এবং $q_1 = +1 \times 10^{-8}$ C; $q_2 = -2 \times 10^{-8}$ C; $q_3 = +3 \times 10^{-8}$ C এবং $q_4 = +2 \times 10^{-8}$ C হলে, তড়িতাধান সংস্থার তড়িৎ স্থিতিশক্তি নির্ণয় করো।
[Ans. -6.4×10^{-7} J]
9. দুটি সমান ক্ষুদ্র পরিবাহী পিথবল একই বিন্দু হতে দুটি 70 cm লম্বা রেশম সূতো দিয়ে ঝোলানো হল। এদের একটি বলে বিদ্যুৎ দেওয়া হল এবং তারা পরস্পরকে স্পর্শ করল। এরা যদি পরস্পর হতে 20 cm দূরে সরে এসে স্থির হয় এবং প্রতিটি বলের ভর 3 decigram হয়, তবে আদি বিদ্যুতের পরিমাণ বের করো। $g = 980$ cm/s².
[Ans. 130.5 e.s.u.]
10. m ভরের একটি ক্ষুদ্র গোলক-কে l দৈর্ঘ্যের সূতো দ্বারা ঝুলিয়ে একটি সরল দোলক তৈরি করা হল। গোলকটি q পরিমাণ তড়িৎ দ্বারা আহিত এবং E প্রাবল্যের উর্ধ্বমুখী তড়িৎ ক্ষেত্রে অবস্থিত। তড়িৎ বল মহাকর্ষ বল অপেক্ষা কম হলে, দোলকের দোলনকাল কি হবে?
[Ans. $T = 2\pi \sqrt{\frac{ml}{mg - Eq}}$]
11. m ভরের একই রকম দুটি গোলককে l দৈর্ঘ্যের সিক্কের সূতো দ্বারা একটি বিন্দু হতে ঝুলানো আছে। গোলক দুটির প্রত্যেকটির q পরিমাণ তড়িতাধান আছে। যদি সূতো দুটির ভিতরকার কোণ খুব ছোটো হয় তাহলে প্রমাণ করো যে, সাম্যবস্থায় গোলকদ্বয়ের কেন্দ্রবিন্দু দুটির দূরত্ব $x = \left(\frac{q^2 l}{2\pi \epsilon_0 mg} \right)^{\frac{1}{3}}$
12. a ব্যাসার্ধের একটি সরু রিংয়ে q পরিমাণ তড়িতাধান সুষমভাবে বণ্টিত হল। প্রমাণ করো যে রিংয়ের অক্ষের উপর কেন্দ্র হতে r দূরে প্রাবল্য $E = \frac{q \cdot r}{4\pi \epsilon_0 (a^2 + r^2)^{\frac{3}{2}}}$; ঐ বিন্দুর বিভব কত? অক্ষস্থিত কোন্ বিন্দুতে E -এর মান সর্বাধিক হবে?
[Ans. $\frac{q}{4\pi \epsilon_0 (a^2 + r^2)^{\frac{3}{2}}}$; $\frac{a}{\sqrt{2}}$]
13. r ব্যাসার্ধের একটি সরু পরিবাহী রিংয়ে Q পরিমাণ আধান আছে। রিংয়ের কেন্দ্রে q বিন্দু আধান রাখলে, রিংয়ের তারে কত টান বৃদ্ধি পাবে নির্ণয় করো।
[Ans. $\frac{1}{4\pi \epsilon_0} \cdot \frac{Q \cdot q}{r^2}$]
14. 9 cm ব্যাসার্ধের দুটি একই রকম সরু ধাতব রিং সমাঙ্কীয় ভাবে 12 cm দূরত্বে পরস্পরের সমান্তরালভাবে বসানো আছে। একটি রিংয়ে 13.5×10^{-8} coulomb এবং অপরটিতে 15×10^{-8} coulomb তড়িতাধান দেওয়া হল। 5×10^{-8} coulomb তড়িতাধানকে একটি রিংয়ের কেন্দ্র হতে অপর রিংয়ের কেন্দ্রে সরিয়ে নিতে কত কার্য করতে হবে? $\epsilon_0 = 8.85 \times 10^{-12}$.
[Ans. 7.5×10^{-5} J]
[দ্রঃ কৃতকার্য = দুই কেন্দ্রের বিভব পার্থক্য \times তড়িতাধান]
15. 9 cm দীর্ঘ একটি সরলরেখার ওপর তিনটি বিন্দু আধান $q, 2q$ এবং $8q$ বসাতে হবে। যে অবস্থানে সমগ্র সংস্থার স্থিতিশক্তি ন্যূনতম হবে তা নির্ণয় করো। ঐ অবস্থানে q আধানের ওপর অপর দুই আধান কত বলপ্রয়োগ করবে?
[Ans. $2q$ হতে $q \rightarrow 3$ cm দূরে; 0]
16. একই বিন্দু থেকে প্রত্যেকটি m ভরের ও q আধানে আহিত দুটি বস্তুকণা প্রত্যেকটি l দৈর্ঘ্যের দুটি দড়ি দিয়ে ঝোলানো হল। প্রমাণ করো যে, প্রত্যেকটি দড়ি উল্লম্বের সাথে θ কোণে আনত থাকলে, $q^2 \cos \theta = 16 \pi \epsilon_0 mg l^2 \sin^2 \theta$ (S.I. এককে)।

□ M.C.Q. প্রশ্নের উত্তর □

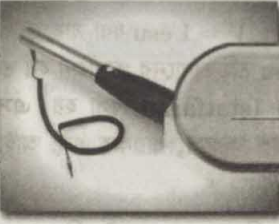
(A)

(i) D	(v) B	(ix) C	(xiii) A	(xvii) A	(xxi) B
(ii) C	(vi) B	(x) A	(xiv) C	(xviii) A	(xxii) D
(iii) B	(vii) B	(xi) D	(xv) A	(xix) D	(xxiii) D
(iv) D	(viii) A	(xii) D	(xvi) D	(xx) C	(xxiv) A

(B) [i] $\frac{1}{8\pi^2 \epsilon_0} \cdot \frac{Qq}{r^2}$, [ii] 2 : 1, [iii] $1.6 \times 10^4 \text{ cm}^2$, 0; [iv] $-0.06j$, [v] $6.75 \times 10^5 \text{ V}$, [vi] निउटन

কুলম্ব, (vii) $\frac{4\sigma}{\epsilon_0}$ ।

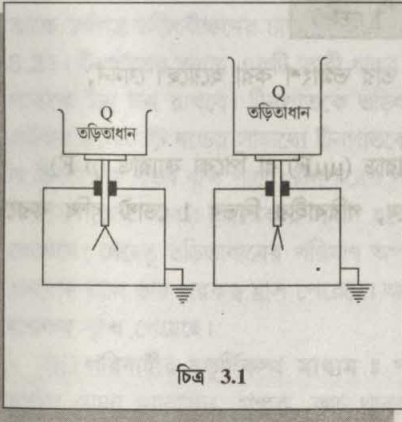
(C) [i] নির্ভুল, [ii] ভুল, [iii] ভুল, [iv] নির্ভুল, [v] ভুল, [vi] নির্ভুল, [vii] ভুল, [viii] ভুল।



ধারকত্ব এবং ধারক

[CAPACITANCE AND CAPACITOR]

3.1. ধারকত্ব (Capacitance or capacity) :



চিত্র 3.1

বিভিন্ন হয়। অনুরূপভাবে, বিভিন্ন আকারের কয়েকটি পরিবাহীতে সমপরিমাণ তড়িতাধান দিলে তাদের বিভব ভিন্ন হয়। দুটি অসমান আকারের ধাতবপাত্র নিয়ে তাদের দুটি সদৃশ স্ফর্ষপত্র তড়িৎবীক্ষণের চাকতির ওপর রাখা (চিত্র নং 3.1)। এবার পাত্র দুটির প্রত্যেককে Q পরিমাণ তড়িতাধানে আহিত করো। দেখা যাবে ছোটো পাত্রের তলায় রাখা তড়িৎ বীক্ষণের স্ফর্ষপত্রদ্বয়ের বিস্ফারণ অপর যন্ত্রের তুলনায় বেশি। এটা প্রমাণ করে যে ছোটো পাত্রের বিভব বড়ো পাত্রের তুলনায় বেশি। এই অবস্থায় বলা হয় যে বড়ো পাত্রের ধারকত্ব ছোটো পাত্র অপেক্ষা বেশি।

তার দিয়ে পাত্র দুটিকে যুক্ত করলে, ছোটো পাত্র হতে তড়িতাধান বড়ো পাত্রে চলে যাবে যতক্ষণ পর্যন্ত না উভয়ের বিভব সমান হয় ঠিক যেমন জলপূর্ণ দুটি পাত্রে পাইপ দিয়ে যুক্ত করলে জলপ্রবাহ হয়ে পাত্রের জলের লেভেল সমান হয়। পাত্র দুটির বিভব সমান হলে স্ফর্ষপত্রদ্বয়ের বিস্ফারণ দুইক্ষেত্রেই সমান হবে।

দেখা যায় যে, নির্দিষ্ট কোনো পরিবাহীর বেলায় তার বিভব সর্বদা তার আধানের সমানুপাতিক হয়। Q পরিমাণ তড়িতাধান দিলে কোনো পরিবাহীর বিভব বৃদ্ধি যদি V হয়, তবে $Q \propto V$ অথবা $Q = C.V$ C একটি ধ্রুবসংখ্যা। একেই পরিবাহীর ধারকত্ব (capacitance or capacity) বলা হয়।

$$\text{ধারকত্ব } (C) = \frac{\text{তড়িতাধান } (Q)}{\text{বিভব বৃদ্ধি } (V)}$$

এখন, যদি $V = 1$ হয়, তবে $Q = C$; এ থেকে আমরা ধারকত্বের নিম্নলিখিত সংজ্ঞা পাই।

সংজ্ঞা : কোনো পরিবাহীর বিভব এক একক বৃদ্ধি করার জন্য পরিবাহীকে যত পরিমাণ তড়িতাধান সরবরাহ করতে হয়, তাকে পরিমাণমূলকভাবে পরিবাহীর ধারকত্বের সমান ধরা হয়।

পরিবাহীর ধারকত্ব আধান Q অথবা বিভব V এর ওপর নির্ভর করে না। Q পরিবর্তন করলে V এরূপভাবে পরিবর্তিত হবে যে Q/V অনুপাত সর্বদা অপরিবর্তিত থাকবে। কোন কোন বিষয়ের উপর পরিবাহীর ধারকত্ব নির্ভর করে তা 3.3 অনুচ্ছেদে উল্লেখ করা হয়েছে।

3.2. ধারকত্বের একক (Units of capacitance) :

সি. জি. এস : উপরিউক্ত সমীকরণে যদি $Q = 1$ esu এবং $V = 1$ esu ধরা যায় তবে $C = 1$ esu অর্থাৎ কোনো পরিবাহীর বিভব 1 esu বৃদ্ধি করতে যদি 1 esu তড়ি্তাধানের প্রয়োজন হয় তবে, তার ধারকত্বকে 1 esu বলা হয়। একে অনেক সময় স্ট্যাটফ্যারাড (statfarad) বলা হয়। এস. আই. পদ্ধতি অনুযায়ী তড়ি্তাধান 'কুলম্ব' এবং বিভব 'ভোল্ট' প্রকাশ করলে, ধারকত্ব এস. আই. এককে প্রকাশিত হবে এবং এই এককের নাম ফ্যারাড (farad)।

সংজ্ঞা : এক কুলম্ব তড়ি্তাধান দিলে যদি কোনো পরিবাহীর বিভব এক ভোল্ট বৃদ্ধি পায়, তবে ঐ পরিবাহীর ধারকত্বকে এক ফ্যারাড বলা হয়।

$$1 \text{ ফ্যারাড} = \frac{1 \text{ কুলম্ব}}{1 \text{ ভোল্ট}}$$

ফ্যারাড খুব বড়ো একক হওয়ায়, ব্যবহারিক ক্ষেত্রে তার ভগ্নাংশ করা হয়েছে। যেমন,

$$1 \text{ ফ্যারাড (F)} = 10^6 \text{ মাইক্রো-ফ্যারাড } (\mu\text{F})$$

$$\text{অথবা, } 1 \text{ ফ্যারাড (F)} = 10^{12} \text{ মাইক্রো-মাইক্রো-ফ্যারাড } (\mu\mu\text{F}) \text{ বা পিকো ফ্যারাড (p F).}$$

কোনো পরিবাহীর ধারকত্ব $9 \mu\text{F}$ বলতে বোঝায় যে, পরিবাহীর বিভব 1 ভোল্ট বৃদ্ধি করতে 9×10^{-6} কুলম্ব তড়ি্তাধান প্রয়োজন।

ফ্যারাড এবং ই এস ইউ এককের সম্পর্ক :

জানা আছে, $1 \text{ কুলম্ব} = 3 \times 10^9 \text{ esu তড়ি্তাধান}$

এবং $300 \text{ ভোল্ট} = 1 \text{ esu বিভব}$ ।

$$\begin{aligned} \text{কাজেই, } 1 \text{ ফ্যারাড} &= \frac{1 \text{ কুলম্ব}}{1 \text{ ভোল্ট}} = \frac{3 \times 10^9 \text{ esu তড়ি্তাধান}}{1/300 \text{ esu বিভব}} \\ &= 9 \times 10^{11} \text{ esu ধারকত্ব} \end{aligned}$$

$$\therefore 1 \mu\text{F} = 10^{-6} \text{ ফ্যারাড} = 9 \times 10^5 \text{ esu ধারকত্ব}$$

□ EXAMPLE □

একটি পরিবাহীর বিভব 250 volt বৃদ্ধি করতে $5 \times 10^{-7} \text{ C}$ তড়ি্তাধান দিতে হয়। ঐ পরিবাহীর ধারকত্ব কত? দ্বিগুণ ধারকত্বের অপর একটি পরিবাহীর দ্বিগুণ বিভব বৃদ্ধি করতে কত তড়ি্তাধান দিতে হবে?

উঃ। $C = \frac{Q}{V}$; এক্ষেত্রে $Q = 5 \times 10^{-7} \text{ C}$ এবং $V = 250 \text{ volt}$ । অতএব,

$$C = \frac{5 \times 10^{-7}}{250} = 0.2 \times 10^{-8} \text{ F}$$

আবার, দ্বিতীয় ক্ষেত্রে,

$$Q = C \cdot V = (2 \times 0.2 \times 10^{-8}) \times (2 \times 250) = 2 \times 10^{-6} \text{ C.}$$

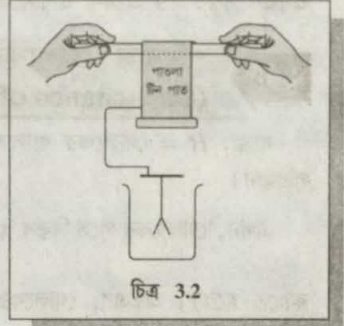
3.3.

পরিবাহীর ধারকত্ব কোন কোন বিষয়ের ওপর নির্ভর করে
(Factors governing the capacitance of a conductor)

3.1. অনুচ্ছেদে আমরা দেখতে পাই যে Q অপরিবর্তিত

থাকলে, $C \propto \frac{1}{V}$ অর্থাৎ যে সকল কারণে নির্দিষ্ট আধানে আহিত পরিবাহীর তড়িৎ বিভব পরিবর্তিত হয়, সেই সকল কারণে তার ধারকত্ব বিভবের ব্যস্তানুপাতে পরিবর্তিত হয়। কারণগুলি নিম্নরূপ :

(i) পরিবাহীর ক্ষেত্রফল : ক্ষেত্রফল যত বৃদ্ধি পায় পরিবাহীর বিভব তত কমে; ফলে ধারকত্ব বৃদ্ধি পায়। একটি এবোনাইট দণ্ড থেকে একখানি পাতলা টিনপাত বুলিয়ে তাকে স্বর্ণপত্র তড়িৎবীক্ষণের চাকতির সাথে যুক্ত করো। (চিত্র নং 3.2)। টিনপাতের তলায় একটি ভারী ধাতব দণ্ড যুক্ত আছে। দণ্ড



চিত্র 3.2

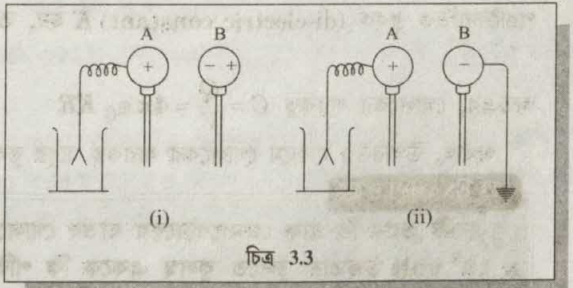
পাতকে টান টান রাখবে। টিনপাতকে তড়িৎযন্ত্রের সাহায্যে আহিত করো। স্বর্ণপত্রদ্বয়ের বিস্তারণ হবে। এইবার এবোনাইট দণ্ডের সাহায্যে টিনপাতকে কিছু গুটিয়ে নিলে, স্বর্ণপত্রদ্বয়ের বিস্তারণ বৃদ্ধি পাবে—অর্থাৎ টিনপাতের বিভব বৃদ্ধি পাবে। টিনপাতের পাক খুলে আবার আগের ক্ষেত্রফলে ফিরিয়ে আন। স্বর্ণপত্রদ্বয়ের বিস্তারণ কমে আবার আগেকার সমান হবে। এথেকে বোঝা যায় যে, টিনপাত সমস্ত তড়িতাধান ধরে রেখেছে। যেহেতু তড়িতাধানের পরিমাণ অপরিবর্তিত আছে সেইহেতু বোঝা যাচ্ছে, টিনপাতের ক্ষেত্রফল কমানোর ফলে তার ধারকত্ব হ্রাস পেয়েছে। অনুবৃত্তভাবে, টিনপাতের ক্ষেত্রফল বৃদ্ধি করলে দেখা যাবে তার ধারকত্ব বৃদ্ধি পেয়েছে।

(ii) পরিবাহীর চতুর্দিকস্থ মাধ্যম : পরিবাহীর চতুর্দিকে বায়ুর পরিবর্তে অপর কোনো অপরিবাহী মাধ্যম যেমন প্যারাক্সিন, গন্ধক, কাচ থাকলে পরিবাহীর ধারকত্ব বৃদ্ধি পায়।

(iii) ভূ-সংলগ্ন পরিবাহীর উপস্থিতি :

A একটি ধনাত্মক তড়িতাহিত পরিবাহী। একে স্বর্ণপত্র তড়িৎবীক্ষণের সাথে যুক্ত করলে পত্রদ্বয়ের বিস্তারণ হবে এবং ঐ বিস্তারণ হবে পরিবাহীর বিভবের পরিমাপ।

এখন আর একটি অন্তরিত পরিবাহী B (তড়িৎবিহীন) নিকটে আনলে দেখা যাবে স্বর্ণপত্রদ্বয়ের বিস্তারণ কিছু হ্রাস পেল [চিত্র 3.3 (i)]। B পরিবাহীকে সরিয়ে নিলে স্বর্ণপত্রদ্বয়ের বিস্তারণ পূর্বের বিস্তারণের সমান হবে। অর্থাৎ A পরিবাহী পূর্ণতড়িতাধান ধরে রেখেছে। এথেকে



চিত্র 3.3

বোঝা যায় যে B পরিবাহীকে কাছে আনাতে A পরিবাহীর বিভব হ্রাস পেল অথবা ধারকত্ব বৃদ্ধি পেল। এর কারণ B পরিবাহীতে ধনাত্মক এবং ঋণাত্মক তড়িৎ আবিষ্ট হবে এবং আবেশের জন্য A পরিবাহীর বিভব হ্রাস পাবে। এখন যদি B পরিবাহীকে ভূ-সংলগ্ন করা হয়, [চিত্র 3.3 (ii)] তবে দেখা যাবে যে স্বর্ণপত্রদ্বয় প্রায় নিম্নীলিত হল। B পরিবাহীকে সরিয়ে নিলে স্বর্ণপত্রদ্বয় পূর্বের বিস্তারণ ফিরে পাবে; অর্থাৎ A পরিবাহীর সমস্ত তড়িতাধান অক্ষুণ্ণ আছে। এটা প্রমাণ করে যে B পরিবাহীকে ভূ-সংলগ্ন করলে A পরিবাহীর বিভব খুব হ্রাস পায় অথবা ধারকত্ব খুব বৃদ্ধি পায়।

উপরোক্ত পরীক্ষা হতে জানা যায় যে কোনো তড়িতাহিত বস্তুর নিকটে তড়িৎবিহীন পরিবাহী—বিশেষত

ভূ-সংলগ্ন পরিবাহী—রাখলে, ঐ বস্তুর বিভব বিশেষভাবে হ্রাস পায় অথবা ঐ বস্তুর ধারকত্ব খুব বৃদ্ধি পায়। পরিবাহীর পরিবর্তে ভূ-সংলগ্ন অন্তরক বস্তু রাখলেও তড়িতাহিত বস্তুর বিভব কমে; তবে পূর্বের মতো অতটা কমে না। এর কারণ (i) অন্তরক বস্তুর ক্ষেত্রে আবিষ্ট তড়িতের পরিমাণ কম হয় এবং (ii) ভূ-সংলগ্ন করে অন্তরক বস্তুর মুক্ত আবিষ্ট আধানকে (free induced charge) অপসারণ করা যায় না।

3.4. পরিবাহী গোলকের ধারকত্ব (Capacitance of a spherical conductor):

ধরো, R = গোলকের ব্যাসার্ধ এবং Q = বায়ুতে রাখা গোলকের কুলম্ব এককে তড়িতাধানের পরিমাণ।

এখন, গোলকের পৃষ্ঠে বিভব $V = \frac{Q}{4\pi\epsilon_0 R}$ (গোলকের তড়িতাধান কেন্দ্রে জমা করা আছে কল্পনা

করতে হবে)। অতএব, গোলকের ধারকত্ব (S.I. এককে) $C = \frac{Q}{V} = \frac{Q}{Q/4\pi\epsilon_0 R} = 4\pi\epsilon_0 R$;

ই.এস.ইউ. এককে গোলকের ধারকত্ব $C = \frac{Q}{Q/R} = R$ অর্থাৎ বায়ুমাধ্যমে অবস্থিত একটি গোলকের

esu এককে ধারকত্ব সংখ্যাগতভাবে তার ব্যাসার্ধের সমান। যে গোলকের ব্যাসার্ধ 1 cm সেই গোলকের ধারকত্ব = 1 esu; কাজেই কোনো গোলকের ধারকত্ব 1 ফ্যারাড অর্থাৎ 9×10^{11} esu করতে হলে তার ব্যাসার্ধ 9×10^{11} cm করতে হবে। এই কারণে ধারকত্ব অনেক সময় সেন্টিমিটার এককে প্রকাশ করা হয়।

যেমন, কোনো পরিবাহীর ধারকত্ব 5 cm বললে বোঝাবে যে, 5 cm ব্যাসার্ধযুক্ত গোলকের বায়ুতে যে ধারকত্ব সেটাই উক্ত পরিবাহী ধারকত্ব (esu এককে)।

[দ্রষ্টব্য : পৃথিবীর ব্যাসার্ধ 6.4×10^9 cm; 1 ফ্যারাড ধারকত্বের কোনো গোলকের ব্যাসার্ধ 9×10^{11} cm অর্থাৎ পৃথিবীর ব্যাসার্ধের প্রায় হাজার গুণের বেশি। এথেকে বোঝা যায় যে ফ্যারাড একটি খুব বড়ো একক।]

যদি গোলকের চতুর্পার্শ্বস্থ মাধ্যম বায়ুর পরিবর্তে অন্য কোনো পদার্থ হয় এবং ঐ মাধ্যমের পরাবৈদ্যুতিক ধ্রুবক (di-electric constant) K হয়, তবে গোলকের বিভব $V = \frac{1}{4\pi\epsilon_0 KR} Q$;

অতএব, গোলকের ধারকত্ব $C = \frac{Q}{V} = 4\pi\epsilon_0 KR$

অর্থাৎ, উপরিউক্ত মাধ্যমে গোলকের ধারকত্ব বায়ুর তুলনায় K গুণ হবে।

□ EXAMPLE □

একটি ভ্যান-ডি-গ্রাফ জেনারেটরের ধাতব গোলকের ব্যাস 1 metre। এর বিভব 2.7×10^6 volt উচ্চতায় তুলতে কুলম্ব এককে কি পরিমাণ আধান প্রয়োজন?

উঃ। এস্. আই. পদ্ধতিতে r ব্যাসার্ধের গোলকের ধারকত্ব $C = 4\pi\epsilon_0 \cdot r = \frac{r}{9 \times 10^9}$ farad।

এক্ষেত্রে $r = 0.5$ metre; অতএব, গোলকের ধারকত্ব $C = \frac{0.5}{9 \times 10^9}$ farad।

এখন, নির্ণেয় তড়িতাধান $Q = C \cdot V = \frac{0.5}{9 \times 10^9} \times 2.7 \times 10^6$
 $= 0.15 \times 10^{-3} C$
 $= 150 \mu C$.

3.5.

আহিত পরিবাহীর স্থিতিশক্তি

(Potential energy of a charged conductor):

ধরো, একটি পরিবাহীর ধারকত্ব C এবং তাকে $+Q$ তড়িতাধান দেওয়া হল যাতে তার বিভব হল V ; এখন পরিবাহীর বিভব বলতে আমরা বুঝি যে একক ধনাত্মক তড়িতাধানকে বহুদূরবর্তী বিন্দু হতে পরিবাহীর অতি নিকটবর্তী বিন্দুতে আনতে যে কার্য করা হয় তা। Q তড়িতাধানের সমস্তটাই এক সঙ্গে পরিবাহীকে না দিয়ে যদি মনে করা হয় যে ক্ষুদ্র ক্ষুদ্র পরিমাণে এনে পরিবাহীকে দেওয়া হল যাতে তার বিভব শূন্য মান হতে ধীরে ধীরে বৃদ্ধি পেয়ে V হয়, তাহলে মোট যে কার্য করতে হবে সেটাই হবে আহিত পরিবাহীর স্থিতিশক্তি।

সহজ উপায়ে এই স্থিতিশক্তি হিসাব করতে হলে আমরা মনে করতে পারি যেন পরিবাহীর বিভব ক্রমান্বয়ে বৃদ্ধি পায়নি; সমগ্র প্রক্রিয়ায়্যাপী এর বিভব গড় মান (average value) অর্থাৎ $\frac{V}{2}$ -তে

$\left(\frac{0+V}{2}\right)$ স্থির আছে। এই অবস্থায় পরিবাহীকে Q তড়িতাধান দিয়ে তার বিভব শূন্য হতে V করতে মোট

যে কার্য করতে হবে তা $W = \text{গড় বিভব} \times \text{তড়িতাধান} = \frac{1}{2}V \times CV = \frac{1}{2}CV^2$ ।

[$\therefore Q = CV$]

এই কার্যই আহিত পরিবাহীতে স্থিতিশক্তি হিসাবে সঞ্চিত থাকে।

অতএব, পরিবাহীর স্থিতিশক্তি $= \frac{1}{2}CV^2$

অপরপক্ষে, স্থিতিশক্তি $\frac{1}{2}CV^2 = \frac{1}{2}C\left(\frac{Q}{C}\right)^2 = \frac{1}{2}\frac{Q^2}{C}$ ($\therefore V = \frac{Q}{C}$)

স্থিতিশক্তির উপরোক্ত সমীকরণগুলি হতে দেখা যায় যে, পরিবাহীটিকে আহিত করার সময় তার বিভব গড়মান $V/2$ -তে কার্যত স্থির থাকে, এরূপ ধরে নেওয়া যায়।

এস. আই পদ্ধতি অনুযায়ী C ফ্যারাডে এবং V ভোল্টে প্রকাশিত হলে স্থিতিশক্তি 'জুল' এককে প্রকাশ করতে হবে।

[ক্যালকুলাসের সাহায্যে প্রমাণ : ধরো, পরিবাহীকে ক্ষুদ্র ক্ষুদ্র তড়িতাধান দিয়ে আহিত করার যে কোনো মুহূর্তে পরিবাহীর মোট আধান ও বিভব যথাক্রমে q এবং v ; এই অবস্থায় পরিবাহীকে আরও ক্ষুদ্র dq পরিমাণ আধান দিলে, তড়িৎ বিকর্ষণ বলের বিরুদ্ধে কৃতকার্য $dW = v.dq$ ।

যেহেতু $v = \frac{q}{C}$ অথবা $q = C.v$ অতএব $dq = C.dv$ (পরিবাহীর ধারকত্ব C ধ্রুবক।)

সুতরাং পরিবাহীকে শূন্য হতে V বিভবে আহিত করতে মোট কৃতকার্য

$$W = \int_0^V C.v dv = C \int_0^V v.dv = \frac{1}{2}C.V^2$$

সুতরাং স্থিতিশক্তি $= \frac{1}{2}CV^2$

□ EXAMPLE □

1. একটি ধারককে 10 coulomb তড়িতাধান দেওয়ায় তার বিভব শূন্য হতে 150 volt হল। তার ধারকত্বের মান কত? তাতে কত শক্তি সঞ্চিত হল?

উঃ। $C = \frac{Q}{V}$; এখানে $Q = 10 \text{ C}$; এবং $V = 150 \text{ volt}$

অতএব, $C = \frac{10}{150} = \frac{1}{15} \text{ Farad}$

আবার, সঞ্চিত শক্তি $= \frac{1}{2} C.V^2 = \frac{1}{2} \times \frac{1}{15} \times (150)^2 = 750 \text{ J}$

3.6.

বিভিন্ন বিভবযুক্ত দুই পরিবাহীর ভিতর আধান বন্টন
(Sharing of charges between two conductors at different potentials):

মনে করো, C_1 এবং C_2 ধারকত্বের দুটি পরিবাহী A এবং B নিয়ে তাদের পৃথকভাবে যথাক্রমে Q_1 এবং Q_2 তড়িতাধান দেওয়া হল।

এই অবস্থায়, A পরিবাহী বিভব $V_1 = \frac{Q_1}{C_1}$

এবং B ,, ,, $V_2 = \frac{Q_2}{C_2}$

এখন, একটি সরু ও লম্বা তার দিয়ে পরিবাহীদ্বয়কে যুক্ত করলে উচ্চবিভবযুক্ত পরিবাহী হতে নিম্ন বিভবযুক্ত পরিবাহীতে তড়িতাধান প্রবাহিত হবে যতক্ষণ পর্যন্ত না উভয়ের বিভব সমান হয়। যদি মনে করা যায়, $V_1 > V_2$ তবে A পরিবাহী হতে B পরিবাহীতে তড়িতাধানের প্রবাহ হবে। ধরো, সংযোগের পর উভয়ের সমবিভব (common potential) হল V ।

যেহেতু সংযোগের পূর্বে মোট যে তড়িতাধান ছিল পরেও তা থাকল, সেইহেতু

$Q = Q_1 + Q_2$ অথবা $V(C_1 + C_2) = V_1 C_1 + V_2 C_2$

$\therefore V = \frac{C_1 V_1 + C_2 V_2}{C_1 + C_2} = \frac{Q_1 + Q_2}{C_1 + C_2} = \frac{\text{মোট আধান}}{\text{মোট ধারকত্ব}}$

সংযোগের পর A এবং B পরিবাহীতে আধান বন্টন হয়ে যদি যথাক্রমে q_1 এবং q_2 আধান থাকে, তবে

$$q_1 = C_1 V = C_1 \times \frac{(Q_1 + Q_2)}{C_1 + C_2} = \frac{C_1 Q}{C_1 + C_2} \dots\dots (i)$$

$$\text{এবং } q_2 = C_2 V = C_2 \times \frac{(Q_1 + Q_2)}{C_1 + C_2} = \frac{C_2 Q}{C_1 + C_2} \dots\dots (ii)$$

(i) এবং (ii) নং সমীকরণ হতে পাই $q_1/q_2 = C_1/C_2$ অর্থাৎ সংযোগের পর পরিবাহীদ্বয়ের আধান তাদের ধারকত্বের সমানুপাতিক। পরিবাহী যদি গোলক হয় এবং তাদের ব্যাসার্ধ যথাক্রমে R_1 এবং R_2 হয় তবে আমরা জানি, $C_1 \propto R_1$ এবং $C_2 \propto R_2$; কাজেই

$$q_1 = \frac{R_1 Q}{R_1 + R_2} \text{ এবং } q_2 = \frac{R_2 Q}{R_1 + R_2}$$

উপরোক্ত সম্পর্ক হতে পাই $q_1/q_2 = R_1/R_2$ অর্থাৎ গোলকদ্বয় যে আধান ধরে রাখে তা গোলকদ্বয়ের ব্যাসার্ধের সমানুপাতিক।

[দ্রষ্টব্য : প্রমাণ করা যায় যে পরিবাহীদ্বয়ের ভিতর আধান বন্টনের ফলে সর্বদা কিছু তড়িৎশক্তি ক্ষয়

$$\text{হবে। শক্তিক্ষয়ের পরিমাণ} = \frac{1}{2} \frac{C_1 C_2 (V_1 - V_2)^2}{C_1 + C_2}$$

শক্তি সংরক্ষণ সূত্রানুযায়ী যেহেতু শক্তির বিনাশ সম্ভব নয়, উক্ত শক্তি অন্যান্য শক্তিরূপে আত্মপ্রকাশ করবে। যেমন, পরিবাহীদ্বয়ের ভিতর বিদ্যুৎ স্ফুলিঙ্গা সৃষ্টি হয়ে তাপ, শব্দ এবং আলোকশক্তির সৃষ্টি করবে।]

□ EXAMPLES □

1. 3 cm এবং 8 cm ব্যাসার্ধের দুটি গোলক-কে যথাক্রমে $4 \times 10^{-9} \text{ C}$ এবং $16 \times 10^{-9} \text{ C}$ তড়িতাধান দেওয়া হল। একটি সরু তার দিয়ে যদি তাদের যুক্ত করা হয়, তবে এক গোলক থেকে অপর গোলকে কত তড়িতাধান প্রবাহিত হবে?

উঃ। প্রথম গোলকের ধারকত্ব $C_1 = 4\pi\epsilon_0 \times 3 \times 10^{-2} \text{ F}$ এবং দ্বিতীয় গোলকের ধারকত্ব $C_2 = 4\pi\epsilon_0 \times 8 \times 10^{-2} \text{ F}$ ।

যুক্ত করার পর তাদের মোট ধারকত্ব $C = C_1 + C_2 = 4\pi\epsilon_0(3+8) \times 10^{-2} = 4\pi\epsilon_0 \times 11 \times 10^{-2} \text{ F}$

গোলক দুটির মোট আধান $Q = 4 \times 10^{-9} + 16 \times 10^{-9} = 20 \times 10^{-9} \text{ C}$

যদি সাধারণ বিভব V হয়, তবে $V = \frac{Q}{C} = \frac{20 \times 10^{-9}}{4\pi\epsilon_0 \times 11 \times 10^{-2}} \text{ volt}$

যুক্ত করার পর প্রথম গোলকে যদি q_1 আধান থাকে, তবে

$$q_1 = V \cdot C_1 = \frac{20 \times 10^{-9}}{4\pi\epsilon_0 \times 11 \times 10^{-2}} \times 4\pi\epsilon_0 \times 3 \times 10^{-2} = 5.45 \times 10^{-9} \text{ C}$$

$$\text{দ্বিতীয় গোলকের আধান } q_2 = V \cdot C_2 = \frac{20 \times 10^{-9}}{4\pi\epsilon_0 \times 11 \times 10^{-2}} \times 4\pi\epsilon_0 \times 8 \times 10^{-2}$$

$$= 14.55 \times 10^{-9} \text{ C}$$

অতএব, দ্বিতীয় গোলক থেকে প্রথম গোলকে $(16 - 14.55) \times 10^{-9} = 1.45 \times 10^{-9} \text{ C}$ আধান প্রবাহিত হবে।

2. 5 cm ব্যাসার্ধের একটি গোলককে $2 \times 10^{-8} \text{ C}$ তড়িতাধানে আহিত করে দ্বিগুণ ব্যাসার্ধের কিছু একই পরিমাণ তড়িতাধানে আহিত অপর একটি গোলকের সাথে উপেক্ষণীয় ধারকত্বের একটি তার দিয়ে যুক্ত করা হল। এতে শক্তির অপচয় নির্ণয় করো।

উঃ। এক্ষেত্রে $C_1 = K \times 5 \times 10^{-2} \text{ F}$ ($K = 4\pi\epsilon_0$)

$$\text{এবং } V_1 = \frac{Q}{C_1} = \frac{2 \times 10^{-8}}{K \times 5 \times 10^{-2}} = \frac{4 \times 10^{-7}}{K} \text{ volt}$$

$$\begin{aligned} \therefore \text{শক্তির অপচয়} &= \frac{C_1 C_2}{2(C_1 + C_2)} (V_1 - V_2)^2 \\ &= \frac{K \times 5 \times 10^{-2} \times K \times 10^{-1}}{2K(5 \times 10^{-2} + 10^{-1})} \left\{ \frac{10^{-7}}{K} (4 - 2) \right\}^2 \\ &= \frac{K^2 \times 5 \times 10^{-3}}{2K \times 0.15} \times \frac{4}{K^2} \times 10^{-14} \\ &= \frac{2}{3K} \times 10^{-15} \\ &= \frac{2}{3 \times 4\pi \epsilon_0} \times 10^{-15} = \frac{2 \times 9 \times 10^9 \times 10^{-15}}{3} = 6 \times 10^{-6} \text{ joule} \end{aligned}$$

উঃ। পৃথিবীর ব্যাসার্ধ $R = 6400 \text{ km} = 6400 \times 10^3 \text{ m}$

$$\text{ধারকত্ব} = 4\pi\epsilon_0 R = \frac{6400 \times 10^3}{9 \times 10^9} \text{ F} = 71.1 \times 10^{-3} \text{ F} = 71.1 \text{ mF}$$

উঃ। ধরো, B পরিবাহীর ধারকত্ব = C ; তাহলে A-পরিবাহীর ধারকত্ব = $3C$.

আধান বন্টনের পর A-পরিবাহীর আধান $q_1 = \frac{3C \times Q}{3C + C} = \frac{3}{4} \cdot Q$

এবং B “ “ $q_2 = \frac{C \times Q}{3C + C} = \frac{1}{4} \cdot Q.$

এখন, আধান বন্টনের পূর্বে A-পরিবাহীর শক্তি $E = \frac{1}{2} \times \frac{(\text{আধান})^2}{\text{ধারকত্ব}} = \frac{1}{2} \times \frac{Q^2}{3C} = \frac{Q^2}{6C}$

এবং, , , , A , , = $\frac{1}{2} \times \frac{(3/4 \cdot Q)^2}{3C} = \frac{3}{32} \cdot \frac{Q^2}{C}$

$$,, \quad ,, \quad B \quad ,, \quad ,, \quad = \frac{1}{2} \times \frac{\left(\frac{1}{4}Q\right)^2}{C} = \frac{1}{32} \cdot \frac{Q^2}{C}$$

$$\text{অতএব, আধান বন্টনের পর পরিবাহীদ্বয়ের মোট শক্তি } E_1 = \frac{3}{32} \cdot \frac{Q^2}{C} + \frac{1}{32} \cdot \frac{Q^2}{C} = \frac{Q^2}{8C}$$

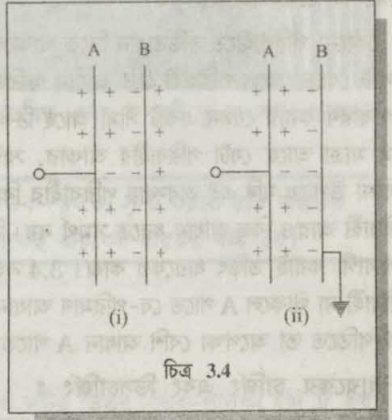
$$\therefore \text{নির্ণেয় অনুপাত } \frac{E_1}{E} = \frac{Q^2}{8C} \times \frac{6C}{Q^2} = \frac{3}{4}$$

$$\text{আবার, শক্তি ক্ষয়} = E - E_1 = \frac{Q^2}{6C} - \frac{Q^2}{8C} = \frac{Q^2}{24.C}$$

$$\therefore \frac{\text{শক্তি ক্ষয়}}{\text{A-পরিবাহীর শক্তি}} = \frac{Q^2}{24.C} \times \frac{6C}{Q^2} = \frac{1}{4}.$$

3.7. ধারক এবং তার মূলনীতি (Capacitor and its principle) :

একটি অন্তরিত পরিবাহী (insulated conductor) এবং আর একটি ভূ-সংলগ্ন পরিবাহী কাছাকাছি রেখে তাদের ভিতরকার স্থান বায়ু বা অন্য কোনো অপরিবাহী মাধ্যম দ্বারা পূর্ণ করলে যে ব্যবস্থা হয় তাকে তড়িৎধারক বলা হয়। তড়িতাধান জমা করার জন্য ধারক ব্যবহার করা হয়। কার্যক্ষেত্রে ব্যবহৃত ধারকের সরল জ্যামিতিক আকার থাকে। যেমন, সমান্তরাল পাত ধারক (parallel plate capacitor) —এ দুটি সমান্তরাল ধাতবপাত মুখোমুখি রাখা হয় অথবা গোলাীয় ধারকে দুটি বিভিন্ন ব্যাসার্ধবিশিষ্ট সমকেন্দ্রিক গোলক থাকে। ধারকের কার্যনীতি আমরা নিম্নলিখিত বিবরণ হতে বুঝতে পারব।



কার্যনীতি : মনে করো, A একটি অন্তরিত ধাতবপাত। তড়িৎক্ষেত্রের সাহায্যে একে এরূপভাবে তড়িতাধান দেওয়া হল যে পাতটির বিভব হল $+V$; এই অবস্থায় A পাতের ধারকত্ব অনুযায়ী তা তড়িতাধান সংগ্রহ করবে ($Q = C.V$)। এখন A পাতের নিকটে অনুরূপ আর একখানি ধাতব পাত B আনলে তড়িতাবেশের উদ্ভব হবে এবং B পাতের ভিতরের পিঠ ঋণাত্মক আধান এবং বাইরের পিঠ ধনাত্মক আধান পাবে [চিত্র নং 3.4 (i)]। এখন, B পাতের ঋণাত্মক আধান A-পাতের ধনাত্মক বিভবকে কিছু কমিয়ে দেবে; আবার B পাতের ধনাত্মক আধান A পাতের ধনাত্মক বিভবকে কিছু বাড়িয়ে দেবে। কিন্তু B পাতের ঋণাত্মক তড়িৎযুগ্ম পৃষ্ঠ A পাতের কাছে থাকায় A পাতের বিভব মোটের উপর সামান্য কমে যাবে। ফলে, A পাতের ধারকত্ব কিছু বাড়বে, কারণ আমরা জানি, $C \propto \frac{1}{V}$ অর্থাৎ বিভব কমলে ধারকত্ব বাড়ে। A পাত তখন উৎস হতে আরও তড়িতাধান গ্রহণ করে বিভব পুনরায় V করবে। এখন B পাতকে ভূ-সংলগ্ন করলে, তার মুক্ত ধনাত্মক আধান ভূমিতে চলে যাবে [চিত্র নং 3.4 (ii)]। ঐ আধান A পাতের বিভবকে বাড়াবার যে চেষ্টা করছিল, এখন আর তা করবে না। ফলে, A পাতের বিভব আরও হ্রাস পাবে এবং পুনরায় বিভব V -এর সমান করতে উৎস হতে আরও বেশি তড়িতাধান A পাত সংগ্রহ করবে—অর্থাৎ ধারকত্ব আরও বৃদ্ধি পাবে।

সংজ্ঞা : ভূ-সংলগ্ন কোনো তড়িৎবিহীন পরিবাহীকে অন্য একটি অন্তরিত ও তড়িৎগ্রস্ত পরিবাহীর নিকটে এনে কৃত্রিম উপায়ে অন্তরিত পরিবাহীর ধারকত্ব বৃদ্ধির ব্যবস্থাকে ধারক বলে।

[প্রকৃতপক্ষে যে-কোনো আহিত পরিবাহী-ই ধারক কারণ ঘরের মেঝে এবং দেওয়াল সর্বদা ভূ-সংলগ্ন পরিবাহীর কাজ করে।]

ধারকের ধারকত্ব নিম্নলিখিত বিষয়গুলির ওপর নির্ভর করে :

(i) A এবং B ধাতবপাত দুটির ভিতরকার দূরত্ব ; এই দূরত্ব বাড়লে ধারকত্ব হ্রাস পায় এবং দূরত্ব কমলে, ধারকত্ব বৃদ্ধি পায়।

(ii) তড়িতাহিত পাত A-র ক্ষেত্রফল ; ক্ষেত্রফল বৃদ্ধি পেলে ধারকত্ব বাড়ে এবং ক্ষেত্রফল কমলে ধারকত্ব কমে যায়।

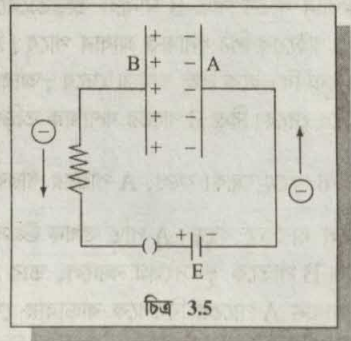
(iii) পাত দুটির ভিতরকার মাধ্যম ; পাত দুটির ভিতরকার জায়গা যদি বায়ুর পরিবর্তে কোনো অন্তরক পদার্থ যেমন কাচ, এবোনাইট, প্যারফিন মোম দ্বারা ভর্তি করা হয় তবে ধারকের ধারকত্ব বৃদ্ধি পায়।

ধারকের সার্থকতা (Significance of a capacitor) : প্রশ্ন উঠতে পারে যে অন্তরিত পরিবাহীর ধারকত্ব কৃত্রিম উপায়ে বৃদ্ধি করার সার্থকতা কী? ব্যবহারিক ক্ষেত্রে দেখা যায় যে বিশেষ ধরনের কাজের জন্য তড়িতাধান জমা করে রাখার প্রয়োজন হয়। অল্প পরিমাণ স্থানে বেশি পরিমাণ আধান জমা করার উদ্দেশ্যেই তড়িৎধারকের সৃষ্টি।

কোনো পরিবাহীতে তড়িতাধান দিতে থাকলে তার বিভব ক্রমশ বাড়তে থাকে। শেষ পর্যন্ত তার বিভব যথেষ্ট বেড়ে গেলে পরিবাহী হতে আধান ক্ষরিত (leak) হতে থাকে। সাধারণ অবস্থায় (কোনো পাত্রের জল ধারণ করার যেমন একটি সীমা আছে ঠিক তেমনি) কোনো পরিবাহীর তড়িৎ-ধারণ ক্ষমতার একটি চরম মাত্রা আছে যেটা পরিবাহীর আকার, সাইজ, মাধ্যম ইত্যাদি কয়েকটি বিষয়ের ওপর নির্ভরশীল। কোনো উপায়ে যদি এই অবস্থায় পরিবাহীর বিভব হ্রাস করানো যায় তাহলে তড়িৎ-ক্ষরণ বন্ধ হয় এবং পরিবাহী আরও কিছু আধান ধরতে সমর্থ নয়। নিম্নতর বিভব থেকে পরিবাহীকে বেশি আধান ধরে রাখার উপযোগী করাই তড়িৎ ধারকের কাজ। 3.4 নং চিত্রে ধারকের যে কার্যপ্রণালী বলা হয়েছে সেখানে B পরিবাহী না থাকলে A পাতে যে-পরিমাণ আধান সঞ্চিত হলে পাত হতে তড়িৎক্ষরণ শুরু হত, B পরিবাহীর উপস্থিতিতে তা অপেক্ষা বেশি আধান A পাতে জমা করা যাবে।

ধারকের চার্জিং এবং ডিসচার্জিং :

যখন ধারকের সাথে ব্যাটারি যুক্ত করা হয় তখন ধারক চার্জড (charged) হয় অর্থাৎ ধারকে তড়িতাধান জমা হতে থাকে। এই প্রণালীকে বলে ‘চার্জিং’। আবার, ব্যাটারি খুলে ফেলে ধারকের দুই প্লেটকে তার দিয়ে যুক্ত করলে ধারক ধীরে ধীরে তড়িতাধান হারায়। একে ধারকের ‘ডিসচার্জিং’ বলে। নিম্নলিখিতভাবে ধারকের চার্জিং এবং ডিসচার্জিং হয়ে থাকে। মনে করো, A এবং B একটি ধারকের দুটি প্লেট এবং তাদের সাথে E তড়িচ্চালক বলের একটি ব্যাটারি যোগ করা হয়েছে [চিত্র 3.5]। ব্যাটারির ঋণাত্মক মেরু হতে ইলেকট্রন ধারকের A প্লেটের দিকে প্রবাহিত হয়। একই সঙ্গে ধারকের অপর প্লেট B হতে ব্যাটারির ধনাত্মক মেরুর দিকে ইলেকট্রনের প্রবাহ ঘটে। এতে প্লেট দুটিতে ধনাত্মক ও ঋণাত্মক তড়িতাধানের উৎপত্তি হয়ে ইলেকট্রন প্রবাহের পথে বাধা জন্মায়। যত ধারক চার্জড হয়ে প্লেটে তড়িতাধানের সমাবেশ ঘটায় তত প্লেট দুটির বিভব-পার্থক্য বাড়তে থাকে। যখন এই বিভব-পার্থক্য বেড়ে ব্যাটারির তড়িচ্চালক বল E -এর সমান হয় তখন চার্জিং প্রবাহও শূন্য হয়। তখন বলা হয় যে ধারকটি সম্পূর্ণরূপে ‘চার্জড’ হয়েছে। একথা

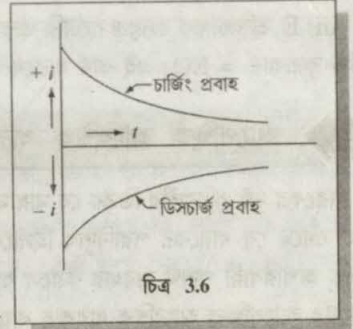


চিত্র 3.5

। মনে রাখা প্রয়োজন যে চার্জিং প্রণালী তাৎক্ষণিক (instantaneous) নয় ; এর জন্য কিছু

সময় দরকার। তাছাড়া, চার্জিং প্রবাহ চার্জিং শুরু হবার সময় সর্বাধিক থাকে এবং ক্রমশ ক্ষীণ হয়ে ধারক সম্পূর্ণ 'চার্জড' হলে শূন্য হয়।

ধারক হতে ব্যাটারি খুলে ফেলে ধারকের প্লেট দুটিকে তার দিয়ে যুক্ত করলে, A প্লেট থেকে ইলেকট্রন B-প্লেটে ফিরে যায় এবং B-প্লেটের ধনাত্মক আধানও ধীরে ধীরে প্রশমিত হয়। এতে বর্তনী দিয়ে আবার একটি তড়িৎ প্রবাহের সৃষ্টি হয়। একে বলা হয় ডিসচার্জ প্রবাহ। কিছুক্ষণের মধ্যেই A প্লেটের সব ইলেকট্রন B প্লেটের সব ধনাত্মক আধানকে প্রশমিত করে এবং ডিসচার্জ প্রবাহ শূন্যমানে উপস্থিত হয়। তখন বলা হয় যে ধারক সম্পূর্ণরূপে 'ডিসচার্জড' হয়েছে। বলা বাহুল্য, যে ডিসচার্জ প্রণালীও তাৎক্ষণিক নয়। তাছাড়া ডিসচার্জ প্রবাহও ডিসচার্জিং শুরু হবার সময় সর্বাধিক থাকে এবং ক্রমশ হ্রাস পেয়ে ধারক সম্পূর্ণ 'ডিসচার্জড' হলে শূন্য হয়। তবে চার্জিং প্রবাহ এবং ডিসচার্জ প্রবাহ পরস্পরের পিরীতমুখী [চিত্র 3.6]।



3.8.

ধারকের ধারকত্ব ও বিভব

(Capacitance and potential of a capacitor) :

দুটি পরিবাহী দ্বারা ধারক গঠিত ; তাদের মধ্যে একটি অন্তরিত এবং অপরটি ভূ-সংলগ্ন। ধারকের ধারকত্ব বলতে অন্তরিত পরিবাহীর ধারকত্বই বুঝায়।

সংজ্ঞা : ধারকের দুই পরিবাহীর ভিতর একক মাত্রার বিভব-পার্থক্য সৃষ্টি করতে তার অন্তরিত পরিবাহীতে যে-পরিমাণ তড়িৎআধান দেওয়া প্রয়োজন, তাকেই ধারকের ধারকত্ব বলা হয়।

$$\text{ধারকের ধারকত্ব} = \frac{\text{অন্তরিত পরিবাহীর আধান}}{\text{পরিবাহীদ্বয়ের বিভব-পার্থক্য}}$$

ধারকের অন্তরিত পরিবাহীকে q তড়িৎআধান দিলে, পরিবাহী দুটির ভিতর বিভব-পার্থক্য যদি V হয়,

$$\text{তবে ধারকের ধারকত্ব } C = \frac{q}{V} \text{।}$$

এস্থলে উল্লেখযোগ্য যে ধারকত্ব সর্বদাই একটি ধনাত্মক রাশি, আধান বা বিভবের ন্যায় ধারকত্ব ঋণাত্মক হয় না। তাছাড়া, পরিবাহী এবং ধারকের ধারকত্ব একই এককে প্রকাশ করা হয়। অনুরূপভাবে, ধারকের বিভব বলতে তার অন্তরিত পরিবাহীর বিভব বুঝায়। অপর পরিবাহী ভূ-সংলগ্ন; তার বিভব সর্বদা শূন্য। কাজেই ধারকের বিভব বলতে তার অন্তরিত এবং ভূ-সংলগ্ন পরিবাহীদের বিভব-পার্থক্য বলা যেতে পারে।

সাধারণত ধারক প্রস্তুতকারীরা ধারকত্বের মান এবং ব্যবহারযোগ্য সর্বোচ্চ ভোল্টেজের মান ধারকের গায়ে খোদাই করে অথবা লেবেল এঁট দেন। $0.05 \mu\text{F} - 230\text{V}$ খোদাই করা থাকলে বুঝতে হবে যে এ ধারকের ধারকত্ব $0.05 \mu\text{F}$ এবং সর্বোচ্চ যে ভোল্টেজ এ ধারকে প্রয়োগ করা যেতে পারে তা 230V ; যদি কখনও 230 ভোল্টের বেশি ভোল্টেজ প্রয়োগ করা হয়, তাহলে ধারকটি নষ্ট হয়ে যেতে পারে।

● ধারক সম্বন্ধে কয়েকটি জ্ঞাতব্য বিষয় :

(i) যখন কোনো ধারককে কোনো ব্যাটারির দুই বন্ধনীর সঙ্গে যুক্ত করা হয় তখন ধারকের দুই প্লেটের ভিতর বিভব-প্রভেদ ব্যাটারির তড়িৎচালক বলের সমান হয়। ব্যাটারির তড়িৎচালক বল E হলে, ধারকের প্লেট দুটির ভিতর বিভব-প্রভেদ হবে E ।

(ii) ব্যাটারির পজিটিভ প্লেট ধারকের পজিটিভ প্লেটে $+Q$ আধান এবং নেগেটিভ প্লেট ধারকের নেগেটিভ প্লেটে $-Q$ আধান সরবরাহ করে। ফলে ধারকের মোট আধান হয় শূন্য।

(iii) E তড়িচ্চালক বলযুক্ত ব্যাটারি তার নেগেটিভ প্রান্ত থেকে পজিটিভ প্রান্তে Q তড়িৎ পাঠালে ব্যাটারি কর্তৃক কৃতকার্য $= EQ$ । এই কার্য ধারকে স্থিতিশক্তিরূপে সঞ্চিত থাকে।

3.9 আপেক্ষিক আবেশিক ধারকত্ব (Specific inductive capacity)

ধারকের দুই পরিবাহীর ভিতর যে মাধ্যম থাকে তাকে পরাবিদ্যুৎ (dielectric) বলা হয়। পরীক্ষা করে দেখা গেছে যে ধারকের পরাবিদ্যুৎ হিসাবে বায়ুর পরিবর্তে প্যারাক্সিন, গন্ধক, কাচ, এবোনাইট, অম্ল প্রভৃতি অপরিবাহী পদার্থ ব্যবহার করলে ধারকের ধারকত্ব বৃদ্ধি পায়। এই কারণে বলা হয় যে ঐ সকল পদার্থের আপেক্ষিক আবেশিক ধারকত্ব বায়ু অপেক্ষা বেশি।

সংজ্ঞা : কোন ধারক-এ কোন পরাবিদ্যুৎ ব্যবহার করলে যে-ধারকত্ব হয় এবং বায়ু মাধ্যম ব্যবহার করলে যে-ধারকত্ব হয় এই দুই ধারকত্বের অনুপাতকে ঐ পরাবিদ্যুতের আপেক্ষিক আবেশিক ধারকত্ব বলা হয়।

$$K = \frac{\text{ধারক-এ ঐ মাধ্যম নিয়ে ধারকত্ব}}{\text{ধারক-এ বায়ু নিয়ে ধারকত্ব}}$$

যেমন, কোনো ধারক-এ পরাবিদ্যুৎ হিসাবে কাচ ব্যবহার করলে তার ধারকত্ব বায়ু মাধ্যম অবস্থায় ধারকত্ব অপেক্ষা প্রায় ৪.৫ গুণ হয়, অর্থাৎ কাচের আপেক্ষিক আবেশিক ধারকত্ব $= 4.5$; ধারক সম্পর্কিত আলোচনায় আপেক্ষিক আবেশিক ধারকত্ব বা পরাবৈদ্যুতিক ধ্রুবক-কে অনেক সময় K অক্ষর দ্বারা সূচিত করা হয়।

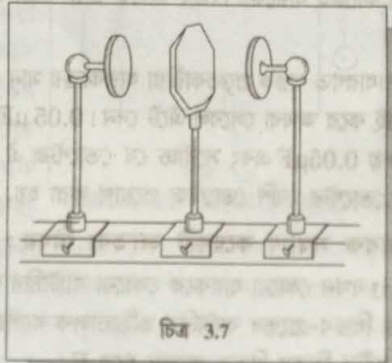
cgs পদ্ধতিতে মাধ্যমের পরাবৈদ্যুতিক ধ্রুবক এবং আপেক্ষিক আবেশিক ধারকত্ব একই—এদের ভিতর পার্থক্য নেই। কিন্তু এস. আই পদ্ধতিতে পরাবৈদ্যুতিক ধ্রুবক $=$ আপেক্ষিক আবেশিক ধারকত্ব \times শূন্য মাধ্যমের ভেদনযোগ্যতা (2.4 অনুচ্ছেদ দ্রষ্টব্য)।

3.10 বিভিন্ন প্রকার ধারক (Different types of capacitors)

(i) সমান্তরাল পাত ধারক (Parallel plate capacitors) : যে-কোনো আকারের দুটি ধাতব পাতকে পরস্পর হতে সামান্য দূরে সমান্তরালভাবে রেখে ধারক গঠন করলে তাকে সমান্তরাল পাত ধারক বলা হয়। 3.7 নং চিত্রে যেমন দেখানো হয়েছে ঐরূপ পাত দুটির ভিতর একখানি কাচের প্লেট রাখলে তাকে এপিনাসের সমান্তরাল পাত ধারক বলা হয়।

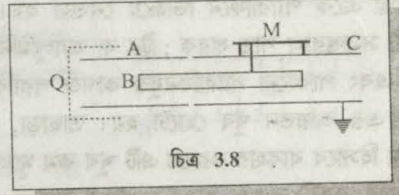
(ii) গোলীয় ধারক (Spherical capacitor) : দুটি সমকেন্দ্রিক গোলক নিয়ে যে-কোনো একটিকে তড়িতাহিত করে অপরটিকে ভূ-সংলগ্ন করলে গোলীয় ধারক গঠিত হয়। গোলক দুটির ভিতরকার জায়গা বায়ু অথবা অন্য কোনো মাধ্যম দ্বারা ভর্তি করা যেতে পারে।

(iii) চোঙাকৃতি ধারক (Cylindrical capacitor) : এই ধারকে দুটি সমাক্ষীয় চোঙ



চিত্র 3.7

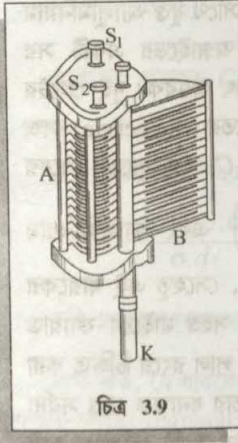
থাকে। A চোঙ তড়িতাহিত এবং স্থির। এর খুব নিকটে সামান্য বায়ুপূর্ণ স্থান ফাঁক রেখে একই ব্যাসের অপর চোঙ C একই অক্ষ বরাবর স্থাপিত থাকে [চিত্র নং 3.8]। C চোঙ রাখার উদ্দেশ্য হচ্ছে A চোঙের প্রান্তভাগের বলরেখাগুলি অবিকৃত রাখা। অভ্যন্তরস্থ ভূ-সংলগ্ন চোঙ B বাইরের A চোঙের সাথে সমাক্ষীয় এবং অক্ষ বরাবর তাকে সামনে-পিছনে সরানো যায়। B চোঙের সাথে যে মাইক্রোমিটার স্ক্রু (M) থাকে তা থেকে ঐ চোঙের সরণ মাপা যায়। বাইরের কোনো বৈদ্যুতিক প্রভাব যাতে ধারককে প্রভাবিত করতে না পারে এই উদ্দেশ্যে তড়িতাহিত A-চোঙকে ভূ-সংলগ্ন আর একটি চোঙ (চিত্রে কাটা রেখা দিয়ে দেখানো হয়েছে) দ্বারা আচ্ছাদিত রাখা হয়।



চিত্র 3.8

(iv) পরিবর্তনীয় বায়ু ধারক (Variable air capacitor) : এটা বহুত একটি পরিবর্তিত

সমান্তরাল পাত বায়ু-ধারক। এর সুবিধা এই যে ইচ্ছামত এর ধারকত্ব বাড়ানো-কমানো যায়। বেতার গ্রাহক যন্ত্র এবং অন্যান্য ইলেকট্রনিক যন্ত্রপাতিতে এর বহুল ব্যবহার আছে। এতে দুই সারি অ্যালুমিনিয়াম প্লেট আছে ; এক সারি স্থির এবং অন্য সারিকে ঘুরানো যায়। ঘূর্ণনক্ষম সারিকে আস্তে আস্তে ঘোরালে দুই সারির ভিতর প্রাবরিত ক্ষেত্রফল (area of overlap) পরিবর্তিত হবে এবং তাতে ধারকের ধারকত্বও ধীরে ধীরে পরিবর্তিত হবে। প্রতি দুটি প্লেটের ভিতর বায়ু পরাবিদ্যুতের কাজ করে। বায়ুপূর্ণ স্থানের বেধ যত কম হবে, ধারকত্ব তত বৃদ্ধি পাবে।



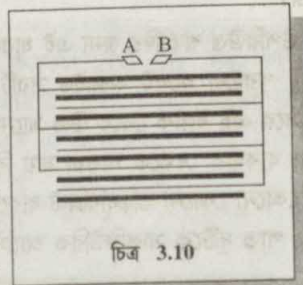
চিত্র 3.9

3.9 নং চিত্রে একটি পরিবর্তনীয় বায়ুধারকের আকৃতি দেখানো হয়েছে। প্লেটগুলির আকার এরূপ যে K - বর্তুল ধীরে ধীরে একই দিকে ঘোরাতে থাকলে দুই সারি প্লেটের প্রাবরিত ক্ষেত্রফল সুযমভাবে হ্রাস বা বৃদ্ধি পায়; ফলে, ধারকত্বের সুযম পরিবর্তন ঘটে। চিত্রে A প্লেটগুলি স্থির এবং B

প্লেটগুলি ঘূর্ণনক্ষম। A প্লেটগুলি S₁ বন্ধনীতে এবং B প্লেটগুলি S₂ বন্ধনীতে যুক্ত।

(v) অত্র-ধারক বা ব্লক-ধারক (Mica capacitor or block capacitor) : এটা প্রকৃতপক্ষে

কয়েকটি সমান্তরাল পাত ধারকের সমান্তরাল সমাবেশ। আকারে এটি একটি ক্ষুদ্র ফলক বা ব্লকের ন্যায় বলে একে অনেক সময় ব্লক ধারক বলা হয় [চিত্র 3.10]। এর ধারকত্ব স্থির (fixed), কিন্তু বিভিন্ন স্থির ধারকত্বের ব্লক ধারক পাওয়া যায়। বেতার গ্রাহক যন্ত্রে এই ধরনের ব্লক ধারকের বহু ব্যবহার আছে। এই ধারক নির্মাণ করা হয় কতকগুলি টিনপাত পর পর রেখে এবং প্রত্যেক দুটি পাতের ভিতর পাতলা অশ্রের চাদর রেখে। চিত্রে সরু লাইনগুলি টিনপাত এবং মোটা লাইনগুলি অশ্রের চাদর বোঝাচ্ছে। বলা বাহুল্য, টিনপাতগুলি ধারকের প্লেটের কাজ করে এবং অশ্রের চাদর পরাবিদ্যুতের কাজ করে। এক্ষেত্রে, অশ্র পাতগুলি একসঙ্গে যুক্ত করে A বন্ধনীর সাথে এবং যুগ্ম পাতগুলি একসঙ্গে যুক্ত করে B বন্ধনীর সাথে সংযোগ করা হয়। ফলে, ধারকগুলি সমান্তরাল সমবায়ে যুক্ত হয়ে একটি বড় ধারকে পরিণত হয়।



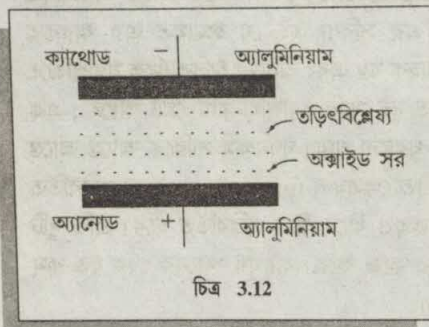
চিত্র 3.10

(vi) কাগজ-ধারক (Paper capacitor) : এই ধারক নির্মাণ করা হয় দুটি টিন অথবা অ্যালুমিনিয়াম পাতের মধ্যে প্যারাইফিন মোমে ভিজানো দীর্ঘ পাতলা কাগজের ফালি রেখে। কাগজের

ফালিসহ পাত দুটিকে পাকিয়ে (rolled) চোঙাকৃতি করা হয়। অন্তঃপর পুনরায় একে প্যারাকিনে ভিজিয়ে নেওয়া হয়। বলা বাহুল্য, এটাও একটি সমান্তরাল পাত ধারক; টিন বা অ্যালুমিনিয়াম পাতদ্বয় ধারকের প্লেট এবং পাকানো প্যারাকিনযুক্ত কাগজ পরাবিদ্যুৎ। পাকিয়ে রাখার ফলে এর আয়তন খুব ছোটো হয়। তাছাড়া, প্যারাকিনযুক্ত কাগজ মাধ্যম হিসাবে ব্যবহার করাতে এটি খুব কম মূল্যে পাওয়া যায়। 3.11 নং চিত্রে একটি কাগজ-ধারক দেখানো হয়েছে।

(vii) তড়িৎবিশ্লিষ্ট ধারক (Electrolytic capacitor) :

দুটি অ্যালুমিনিয়াম পাতের মাঝখানে কোনো উপযুক্ত তড়িৎবিশ্লিষ্ট (electrolyte) বা তরল পরিবাহী রেখে তাদের ভিতর সম তড়িৎপ্রবাহ (direct current) পাঠালে তড়িৎবিশ্লিষ্ট ধারক তৈরি হয় (চিত্র 3.12)।



ধারকত্ব খুবই উচ্চ মানের হতে পারে। খুব ক্ষুদ্রায়তনের এইরূপ ধারক কয়েক সহস্র মাইক্রো-ফ্যারাড ধারকত্ব উৎপন্ন করতে পারে। অক্সাইড সরকে অক্ষুণ্ণ রাখার জন্য অ্যানোড প্রান্তকে লাল রংয়ে চিহ্নিত করা হয় অথবা + চিহ্ন লিখে দেওয়া হয়। যে বর্তনীতে এই ধারক ব্যবহার করা হয় তার ধনাত্মক প্রান্ত সর্বদা এই অ্যানোড প্রান্তের সঙ্গে যুক্ত করা প্রয়োজন। সংযোগ উল্টো হলে, অক্সাইড সরটি ক্ষতিগ্রস্ত হয়ে ধারকটিকে নষ্ট করে দেবে। যে ভোল্টেজ এই ধারকের প্রয়োগ করতে হবে তাও সরের বেধের দ্বারা সুনির্দিষ্ট এবং তার মান ধারকের গায়ে লেখা থাকে। বেশি ভোল্টেজ প্রয়োগ করলে সরটি ভেঙে যেতে পারে।

উপরিউক্ত শর্তাদির জন্য এই ধারকের ব্যবহার খুবই সীমিত। ধারকটি খুব নির্ভরযোগ্যও নয়—কারণ একটু পুরানো হলেই অক্সাইড সরটি ভেঙে যাবার সম্ভাবনা থাকে। একমাত্র সুবিধা এই যে খুব অল্প পরিসরে এই ধারক থেকে উচ্চ মানের ধারকত্ব পাওয়া যায়। তাই সস্তা ধরনের বেতার-গ্রাহক যন্ত্রে এর প্রচুর ব্যবহার দেখতে পাওয়া যায় কিন্তু দামি যন্ত্রে ব্যবহার করা হয় না।

কোনো কোনো তড়িৎবিশ্লিষ্ট ধারকে অ্যালুমিনিয়াম পাতের পরিবর্তে ট্যানটালাম পাত ব্যবহার করা হয় এবং পাত দুটিকে সালফিউরিক অ্যাসিড তড়িৎবিশ্লিষ্টে নিমজ্জিত রাখা হয়।



তড়িৎপ্রবাহের ফলে অ্যানোড প্লেট অর্থাৎ সমতড়িৎ প্রবাহ উৎসের ধনাত্মক মেরুর সাথে যুক্ত অ্যালুমিনিয়াম প্লেটে পাতলা অ্যালুমিনিয়াম অক্সাইডের একটি সর (film) পড়ে। এই সরটি তড়িৎ অন্তরক। দুই প্লেটের মাঝখানে থেকে এটি পরাবিদ্যুতের (dielectric) কাজ করে। যেহেতু ধারকের ধারকত্ব C পরাবিদ্যুতের বেধের (d) ব্যস্তানুপাতি ($C \propto \frac{1}{d}$) এবং অ্যালুমিনিয়াম

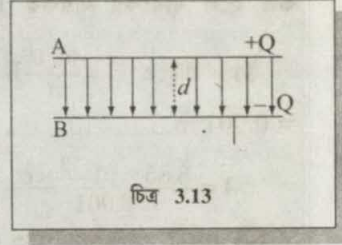
অক্সাইড সরের বেধ খুব কম, সেহেতু এই ধারকের

3.11. সমান্তরাল পাত ধারকের ধারকত্বের হিসাব (Calculation of capacitance of parallel plate capacitors) :

যে-কোনো আকারের দুটি ধাতব পাতকে পরস্পর হতে সামান্য দূরে সমান্তরালভাবে রেখে ধারক গঠন করলে তাকে সমান্তরালপাত ধারক বলা হয়। ধারকের তড়িৎতাহিত পাত A এবং ভূ-সংলগ্ন পাত B যদি সমান আকার ও আকৃতিবিশিষ্ট হয় এবং যদি খুব কাছাকাছি থাকে তাহলে আমরা মনে করতে

পারি যে, পাতদ্বয়ের মধ্যে তড়িৎ বলরেখাগুলি ঝড়ু ও সমান্তরাল (চিত্র 3.13)। ফলে, ঐ পাত দুটির ভিতর তড়িৎক্ষেত্রের প্রাবল্য সর্বত্র সমান হবে।

ধরো, যে-কোনো পাতের ক্ষেত্রফল $= \alpha$ । A-পাতের তড়িৎআধান $= +Q$ । পাতদ্বয়ের পারস্পরিক দূরত্ব $= d$ এবং মাধ্যমের পরাবৈদ্যুতিক ধ্রুবক $= K$ ।



A-পাতের আধানের তলমাত্রিক ঘনত্ব $\sigma = \frac{Q}{\alpha}$; যদি পাত দুটির মধ্যে তড়িৎক্ষেত্রের প্রাবল্য E ধরা যায়, তবে প্রমাণ করা যায় যে $E = \frac{\sigma}{K \epsilon_0}$ [2.5 অনুচ্ছেদ দ্রষ্টব্য]

পাত দুটির বিভব-পার্থক্য V হলে, (B পাত ভূ-সংলগ্ন বলে শূন্য বিভব পায়) $V =$ একটি একক তড়িৎআধান (ধনাত্মক)-কে B প্লেট হতে A প্লেটে আনতে কৃতকার্য $=$ একক আধানের উপর প্রযুক্ত বল \times দূরত্ব $= \frac{\sigma}{K \epsilon_0} \times d$

$$\text{ধারকের ধারকত্ব } C \text{ হলে, } C = \frac{Q}{V} = \frac{Q}{\frac{\sigma \cdot d}{K \epsilon_0}} = \frac{K \epsilon_0 Q}{\sigma \cdot d}$$

A-প্লেটের তড়িৎআধান $Q = \alpha \cdot \sigma$;

$$\therefore C = \frac{K \epsilon_0 \alpha \cdot \sigma}{\sigma \cdot d} = \frac{K \cdot \epsilon_0 \alpha}{d} = K \epsilon_0 \cdot \frac{\text{A পাতের ক্ষেত্রফল}}{\text{পাত দুটির ভিতর দূরত্ব}}$$

যদি পরাবৈদ্যুতিক মাধ্যম বায়ু হয়, তবে $K = 1$ এবং সেক্ষেত্রে $C = \frac{\epsilon_0 \alpha}{d}$ farad

লক্ষ কর, যে ধারকের ধারকত্ব আধান Q -এর উপর নির্ভর করে না; যেমন কোনো জলাধারের জল ধারণ-ক্ষমতা (capacity) জলের পরিমাণের উপর নির্ভর করে না।

[দ্রষ্টব্য : cgs পদ্ধতিতে, $C = \frac{K \cdot \alpha}{4\pi d}$ । এখানে $K =$ মাধ্যমের পরাবৈদ্যুতিক ধ্রুবক; $\alpha = \text{cm}^2$

এককে প্রত্যেক প্লেটের ক্ষেত্রফল এবং $d = \text{cm}$ এককে প্লেটদ্বয়ের অন্তর্বর্তী দূরত্ব।]

□ EXAMPLES □

① একটি সমান্তরাল পাত ধারকের উচ্চ বিভব পাতের ক্ষেত্রফল 200 cm^2 এবং পাত দুটির ভিতরকার দূরত্ব 1 cm । পাত দুটির ভিতরকার জায়গা যদি একটি এবোনাইট (আপেক্ষিক আবেশিক ধারকত্ব $= 3$) প্লেট অধিকার করে, তবে ঐ ধারকের ধারকত্ব কত?

উঃ। cgs পদ্ধতিতে সমান্তরাল প্লেট ধারকের ধারকত্ব $C = \frac{K \alpha}{4\pi d}$ esu.

এস্থলে $K = 3$; $\alpha = 200 \text{ cm}^2$; $d = 1 \text{ cm}$.

অতএব, $C = \frac{3 \times 200}{4 \times 3.14 \times 1} \text{ esu} = 47.77 \text{ esu}$.

এস. আই পদ্ধতি : S.I. পদ্ধতিতে $C = \frac{K \cdot \epsilon_0 \alpha}{d} = \frac{3 \times 8.85 \times 10^{-12} \times 200 \times 10^{-4}}{10^{-2}} = 53.1 \times 10^{12} \text{ farad}$.

২. একটি সমান্তরাল পাত বায়ু ধারকের দুই প্লেটের দূরত্ব 1 mm ; প্লেট দুটির ক্ষেত্রফল কত হলে ধারকের ধারকত্ব 1 ফ্যারাড হবে?

উঃ। বায়ুতে $C = \frac{\epsilon_0 \alpha}{d} F$; এখানে $C = 1F$; $\epsilon_0 = 8.85 \times 10^{-12}$ এবং $d = 1 \text{ mm} = 0.001 \text{ m}$.

$$\therefore 1 = \frac{8.85 \times 10^{-12} \times \alpha}{0.001} \therefore \alpha = \frac{0.001}{8.85 \times 10^{-12}} = 1.13 \times 10^8 \text{ m}^2.$$

৩. একটি সমান্তরাল পাত বায়ু ধারকের প্লেটের ক্ষেত্রফল 2m^2 এবং প্লেট দুটির ব্যবধান 5 mm। ধারকের প্লেট দুটির ভিতর বিভবপ্রভেদ 10,000 volt হলে, (i) ধারকের ধারকত্ব (ii) প্রত্যেক প্লেটের আধান (iii) প্লেট দুটির অভ্যন্তরে তড়িৎক্ষেত্রপ্রাবল্য নির্ণয় করো। ধারকের প্লেট দুটির ভিতরস্থ ব্যবধান পরিপূর্ণভাবে কাচ দ্বারা ভর্তি করলে, ধারকের ধারকত্ব কত হবে? কাচের আপেক্ষিক আবেশিক ধারকত্ব = 5.6

উঃ। (i) সমান্তরাল পাত বায়ু ধারকের ধারকত্ব $C = \frac{\epsilon_0 \alpha}{d}$; এখানে $\epsilon_0 = 8.85 \times 10^{-12}$; $\alpha = 2\text{m}^2$ এবং $d = 5 \text{ mm} = 5 \times 10^{-3} \text{ m}$.

$$\therefore C = 8.85 \times 10^{-12} \times \frac{2}{5 \times 10^{-3}} = 3.54 \times 10^{-9} \text{ farad}.$$

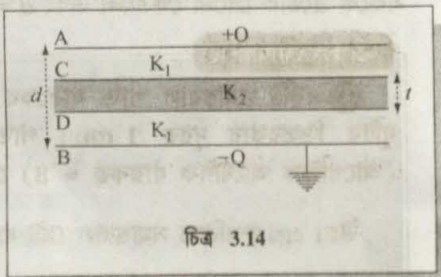
$$(ii) \text{ ধারকের প্লেটের আধান } Q = C.V = 3.54 \times 10^{-9} \times 10^4 = 3.54 \times 10^{-5} \text{ coulomb}$$

$$(iii) \text{ তড়িৎক্ষেত্রের প্রাবল্য } E = \frac{V}{d} = \frac{10,000}{5 \times 10^{-3}} = 20 \times 10^5 \text{ volt/metre}.$$

K -আপেক্ষিক আবেশিক ধারকত্বের মাধ্যমযুক্ত সমান্তরাল পাত ধারকের ধারকত্ব $C = K.C = 5.6 \times 3.54 \times 10^{-9} \text{ farad} = 19.8 \times 10^{-9} \text{ farad}$.

(খ) মিশ্র পরাবিদ্যুৎযুক্ত সমান্তরাল পাত ধারকের ধারকত্ব (Capacitance of a parallel plate capacitor with a compound dielectric) :

ধারকের দুটি পাত A এবং B -এর ভিতরকার দূরত্ব d । এই দূরত্ব K_1 পরাবিদ্যুৎ দ্বারা অধিকৃত। এই মাধ্যমের ভিতর t বেধের এবং K_2 পরাবিদ্যুতের অপর একটি মাধ্যমের সমান্তরাল ফলক রাখলে [চিত্র 3.14], মিশ্র পরাবিদ্যুৎযুক্ত ধারক তৈরি হয়। বলা বাহুল্য, K_1 পরাবিদ্যুতের বেধ $= (d - t)$; এই ব্যবস্থার ফলে ধারকের অভ্যন্তরস্থ তড়িৎক্ষেত্রের সুষমতার (uniformity) কোনো পরিবর্তন হয় না। ধরো, তড়িৎহিত A পাতের ক্ষেত্রফল $= \alpha$; এই পাতের



আধানের তলমাত্রিক ঘনত্ব $\sigma = \frac{Q}{\alpha}$;

K_1 মাধ্যমের ভিতর সুষম তড়িৎক্ষেত্রের প্রাবল্য E_1 ধরলে $E_1 = \frac{\sigma}{\epsilon_0 K_1}$ এবং K_2 মাধ্যমের ভিতর

$$E_2 = \frac{\sigma}{\epsilon_0 K_2}.$$

এখন, A এবং B দুই পাতের কথা বিবেচনা করলে এবং তাদের বিভব পার্থক্য V হলে,

$$V = \frac{\sigma}{\epsilon_0 K_1} \times (d-t) + \frac{\sigma}{\epsilon_0 K_2} \times t = \frac{\sigma}{\epsilon_0} \left[\frac{d-t}{K_1} + \frac{t}{K_2} \right] = \frac{Q}{\epsilon_0 \alpha} \left[\frac{d-t}{K_1} + \frac{t}{K_2} \right]$$

$$\therefore \text{ধারকের ধারকত্ব } C = \frac{Q}{V} = \frac{\epsilon_0 \alpha}{\left[\frac{d-t}{K_1} + \frac{t}{K_2} \right]} \quad [Q = \sigma \alpha]$$

$$\text{যদি } K_1 = 1 \text{ (বায়ু) হয়, এবং } K_2 = K \text{ হয় তবে, } C = \frac{\epsilon_0 \alpha}{\left(d-t + \frac{t}{K} \right)} = \frac{\epsilon_0 \alpha}{\left\{ d - \left(t - \frac{t}{K} \right) \right\}}$$

[দ্রষ্টব্য : লক্ষ করার বিষয় যে $\left(t - \frac{t}{K} \right)$ ধনাত্মক হওয়ায় ধারকের অভ্যন্তরস্থ বায়ু মাধ্যমে t বেধের অপর একটি মাধ্যম প্রবেশ করাবার ফলে ধারকত্ব বৃদ্ধি পায়। উপরিউক্ত সমীকরণ হতে এটাও বোঝা যায় যে t বেধযুক্ত পরাবৈদ্যুতের ফলক প্রবেশ করালে পাত দুটির অন্তর্বর্তী দূরত্ব কার্যত $\left(t - \frac{t}{K} \right)$ পরিমাণ কমে যায়। পূর্বের ধারকত্ব ফিরে পেতে গেলে A এবং B পাত দুটির দূরত্ব বৃদ্ধি করতে হবে। এই দূরত্ব বৃদ্ধি x হলে স্পষ্টত $x = t - \frac{t}{K}$ অথবা $x = t \left(1 - \frac{1}{K} \right)$ ।]

□ EXAMPLES □

1. 4 mm পুরু একটি অন্তরক পদার্থের স্ল্যাব একটি সমান্তরাল পাত ধারকের প্লেট দুটির ভিতর প্রবেশ করালে দেখা যায় ধারকের ধারকত্ব মূলমানে ফিরিয়ে আনতে হলে ধারকের পাত দুটির দূরত্ব 3.5 mm বাড়তে হয়। অন্তরক পদার্থের পরাবৈদ্যুতিক ধ্রুবক কত?

উঃ। ধারকের ধারকত্ব মূলমানে ফিরিয়ে আনতে ধারকের প্লেট দুটির দূরত্ব x বাড়তে হলে,

$$x = t \left(1 - \frac{1}{K} \right) \text{ m.}$$

$$\text{এখানে, } x = 3.5 \text{ mm} = 3.5 \times 10^{-3} \text{ m এবং } t = 4 \text{ mm} = 4 \times 10^{-3} \text{ m}$$

$$\text{কাজেই } 3.5 \times 10^{-3} = 4 \times 10^{-3} \left(1 - \frac{1}{K} \right) \text{ অথবা, } \frac{3.5}{4} = 1 - \frac{1}{K} \therefore K = 8$$

2. একটি সমান্তরাল পাত ধারকের প্লেট দুটির ভিতর দূরত্ব d ; ঐ স্থানে যখন t বেধের ($t < d$) কোনো অন্তরক স্ল্যাব ঢুকানো হয়, তখন ধারকের ধারকত্ব দ্বিগুণ হয়। অন্তরক পদার্থের পরাবৈদ্যুতিক ধ্রুবক 3 হলে, t/d এর মান নির্ণয় করো। $t = 3 \text{ cm}$ হলে, d -এর মান কত?

উঃ। ধর, ধারকের প্রতিটি প্লেটের ক্ষেত্রফল $= \alpha \text{ cm}^2$ । যখন ধারক বায়ুপূর্ণ তখন তার ধারকত্ব

$$C_1 = \frac{\alpha}{4\pi d} \text{ e.s.u. যখন ধারকে অন্তরক স্ল্যাব ঢোকানো হল তখন 3.11(খ) অনুচ্ছেদ অনুযায়ী ধারকত্ব}$$

$$C_2 = \frac{\alpha}{4\pi(d-t+t/k)} = \frac{\alpha}{4\pi(d-t+t/3)} = \frac{\alpha}{4\pi(d-2t/3)}; \text{ প্রদানুযায়ী } C_2 = 2C_1$$

$$\therefore \frac{\alpha}{4\pi(d-2t/3)} = \frac{2\alpha}{4\pi d} \text{ অথবা } t/d = 3/4; \text{ যখন } t = 3, \text{ তখন } d = 4 \text{ cm.}$$

(গ) গোলীয় ধারক (Spherical capacitor) : ধরো, একটি গোলীয় ধারকের ভিতরের গোলকটির ব্যাসার্ধ r_1 এবং বাইরের গোলকটির r_2 ; ভিতরের গোলককে $+Q$ আধান দেওয়া হল এবং বাইরের গোলকটি ভূ-সংলগ্ন (চিত্র 3.15) আছে। যেহেতু A গোলক থেকে নির্গত সকল তড়িৎ বলরেখা B গোলককে ছেদ করে, সেইহেতু B গোলকের অভ্যন্তরে $-Q$ তড়িৎ আধান আবিস্ট হবে এবং বাইরের পৃষ্ঠের আবিস্ট আধান ভূমিতে চলে যাবে। ভিতরের গোলক A -র বিভব V হলে, $V =$ নিজস্ব $(+Q)$ তড়িৎ আধানের জন্য বিভব $+$ আবিস্ট তড়িৎ আধানের $(-Q)$ জন্য বিভব।

একটি সুসমভাবে তড়িৎ আহিত গোলকের পৃষ্ঠের বিভব হিসাবে করতে গিয়ে আমরা মনে করতে পারি যে তার সমস্ত আধান যেন তার কেন্দ্রে জমা করা আছে। অতএব, নিজস্ব তড়িৎ আধানের জন্য A গোলকের বিভব =

$$\frac{Q}{4\pi\epsilon_0 r_1} ; \text{ আবার একটি ফাঁপা গোলকের অভ্যন্তরে সর্বত্র বিভব সমান}$$

এবং তা A গোলকের পৃষ্ঠ-বিভবের সমান বলে $-Q$ আবিস্ট তড়িৎ আধানের জন্য A গোলকের বিভব =

$$= -\frac{Q}{4\pi\epsilon_0 r_2}$$

$$\text{অতএব, } V = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \left[\frac{Q}{r_1} - \frac{Q}{r_2} \right] = \frac{Q}{4\pi\epsilon_0} \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right) = \frac{Q}{4\pi\epsilon_0} \left(\frac{r_2 - r_1}{r_1 r_2} \right)$$

$$\text{ধারকের ধারকত্ব } C \text{ হলে, } C = \frac{Q}{V} = \frac{4\pi\epsilon_0}{\left(\frac{r_2 - r_1}{r_1 r_2} \right)} = \frac{4\pi\epsilon_0 \cdot r_2 r_1}{r_2 - r_1}$$

যদি পরিবাহীদ্বয়ের ভিতরকার মাধ্যম বায়ু না হয়ে অন্য কিছু হয় যার পরাবৈদ্যুতিক ধ্রুবক K তবে

$$C = 4\pi \frac{K \cdot \epsilon_0 \cdot r_2 r_1}{r_2 - r_1}$$

[দ্রষ্টব্য : (i) যদি ভিতরের গোলকটি ভূ-সংলগ্ন হয় এবং বাইরের গোলকটি তড়িৎ আহিত হয় তবে

$$\text{প্রমাণ করা যায় যে, ঐ ধারকের ধারকত্ব } C = \frac{4\pi\epsilon_0 K r_2^2}{r_2 - r_1}$$

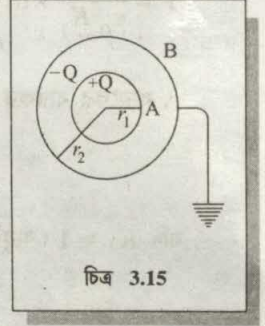
(ii) c.g.s পদ্ধতি অনুযায়ী $C = \frac{K r_1 r_2}{r_2 - r_1}$ । গোলীয় ধারকের বাইরের গোলকটি অসীম দূরত্বে

($r_2 = \infty$) স্থানান্তরিত হলে, আমরা একটি বিচ্ছিন্ন (isolated) গোলক পাই। ঐ বিচ্ছিন্ন গোলকের

$$\text{ধারকত্ব } C = \frac{4\pi\epsilon_0 K r_1 r_2}{r_2} = 4\pi\epsilon_0 K r_1 \quad (3.4 \text{ অনুচ্ছেদ দেখো।})$$

□ EXAMPLES □

1. একটি গোলক A -কে আর একটি বৃহত্তর ব্যাসার্ধের ভূ-সংলগ্ন গোলক B দ্বারা সম্পূর্ণ আবৃত করলে, প্রমাণ করো যে, A -গোলকের ধারকত্ব n গুণ বৃদ্ধি পায় যদি B গোলক এবং A গোলকের ব্যাসার্ধের অনুপাত হয় $\frac{n}{(n-1)}$



উঃ। ধরো A গোলকের ব্যাসার্ধ $= r_1$ এবং B গোলকের $= r_2$; তাহলে, $\frac{r_2}{r_1} = \frac{n}{n-1}$(i)

এখন, বায়ুমাধ্য A গোলকের ধারকত্ব $C_1 = 4\pi\epsilon_0 r_1$

B গোলক দ্বারা A গোলক-কে আবৃত করলে এবং B গোলক ভূ-সংলগ্ন হলে, ঐ গোলীয়

$$\text{ধারকের ধারকত্ব } C_2 = \frac{4\pi\epsilon_0 r_2 r_1}{(r_2 - r_1)} ; \text{ এখন, } \frac{C_2}{C_1} = \frac{r_2}{(r_2 - r_1)}$$

(i) নং সমীকরণ থেকে r_2 -এর মান বসালে পাই,

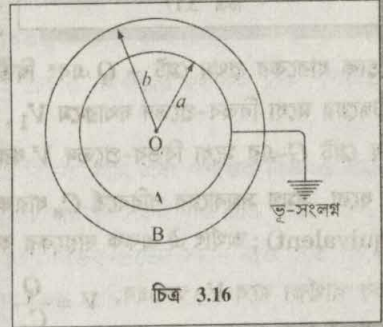
$$\frac{C_2}{C_1} = \frac{r_1 \cdot n}{(n-1) \times \left(\frac{r_1 n}{n-1} - r_1 \right)} = n$$

অতএব, $C_2 = n \cdot C_1$

২. 4 cm ও 6 cm ব্যাসার্ধের দুটি সমকেন্দ্রিক ধাতব গোলকের বাইরের দিকে + 30 esu আধানে আহিত করা হল। যদি ভিতরের গোলকটিকে ভূমির সাথে সংযুক্ত করা হয়, তবে এর ওপর কতটা আধান থাকবে? সংস্থাটির ধারকত্ব কত হবে?

উঃ। 3.16 চিত্র দেখো। A 4cm ব্যাসার্ধের এবং B 6 cm ব্যাসার্ধের গোলক। A গোলক ভূ-সংলগ্ন। ধরো বাইরের গোলক-কে $+Q$ তড়িতাধান দেওয়া

হল। এ ক্ষেত্রে A গোলকে আবিষ্ট তড়িতাধান $-Q$ হবে না ; কারণ B গোলক থেকে নির্গত বলরেখার বেশির ভাগ অংশ বাইরের দিকে প্রসারিত হয়ে অসীমে অথবা অন্যবস্তুতে শেষ হবে। ভূ-সংলগ্ন A গোলকের উপস্থিতির জন্য কিছু সংখ্যক বলরেখা ভিতরের দিকে প্রসারিত হয়ে A -গোলকে শেষ হবে। ধরো, A গোলকের আবিষ্ট তড়িতাধানের পরিমাণ $= Q'$ । এখন, A গোলকের বিভব $=$ নিজস্ব আবিষ্ট তড়িতের জন্য বিভব $+ B$ গোলকের তড়িতাধানের জন্য বিভব



চিত্র 3.16

$= \frac{Q'}{a} + \frac{Q}{b}$; কিন্তু A গোলক ভূ-সংলগ্ন হওয়ায় এর মোট বিভব শূন্য। অতএব, $\frac{Q'}{a} + \frac{Q}{b} = 0$ অথ

বা $Q' = -Q \cdot \frac{a}{b}$; এখানে $Q = 30 \text{ esu}$; $a = 4 \text{ cm}$ এবং $b = 6 \text{ cm}$.

$\therefore A$ গোলক তড়িতাধান $Q' = -30 \times \frac{4}{6} = -20 \text{ esu}$.

আবার, B গোলকের মোট বিভব $=$ নিজস্ব তড়িতের জন্য বিভব $+ A$ গোলকের তড়িতের জন্য

$$\text{বিভব} = \frac{Q}{b} - \frac{Qa}{b^2} = \frac{Q(b-a)}{b^2}$$

[A গোলকের অভ্যন্তরে বলে তার সমস্ত তড়িতাধান B গোলকের কেন্দ্রে জমা করা আছে এরকম ধরা যায়।]

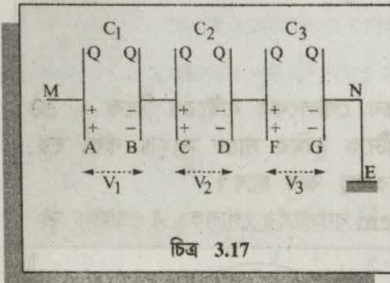
A গোলকের বিভব শূন্য হওয়ায়, দুই গোলকের বিভব পার্থক্য $V_B - V_A = \frac{Q(b-a)}{b^2}$

অতএব, সংস্থার ধারকত্ব $C = \frac{Q}{V_B - V_A} = \frac{b^2}{b-a}$ esu. [3.11 (গ) (i) note দ্রষ্টব্য]

এখানে $b = 6$ cm এবং $a = 4$ cm ; অতএব, $C = \frac{(6)^2}{6-4} = 18$ esu.

3.12. ধারকের সমবায় (Combination of capacitors) :

(ক) শ্রেণি সমবায় (Series combination) : এই সমবয়ে প্রথম ধারকের দ্বিতীয় প্লেট দ্বিতীয় ধারকের প্রথম প্লেটের সঙ্গে যুক্ত। আবার, দ্বিতীয় ধারকের দ্বিতীয় প্লেট তৃতীয় ধারকের প্রথম প্লেটের সঙ্গে সংযুক্ত। এইভাবে পরপর একাধিক ধারক সমবায়ের অন্তর্ভুক্ত করা হয়। এই ব্যবস্থায় শেষ ধারকের শেষ প্লেট ছাড়া অন্য সব প্লেটগুলি অন্তরিত। শেষ প্লেটটি ভূ-সংলগ্ন থাকে (চিত্র 3.17)।



প্রত্যেক ধারকের প্রথম প্লেট $+Q$ এবং দ্বিতীয় প্লেটের ভিতরের পিঠ $-Q$ আধান পাবে। ধারকগুলির প্লেটদ্বয়ের মধ্যে বিভব-প্রভেদ যথাক্রমে V_1, V_2 ইত্যাদি হলে এবং সমগ্র সমবায়ের প্রথম প্লেট A এবং শেষ প্লেট G-এর মধ্যে বিভব-প্রভেদ V ধরলে, $V = V_1 + V_2 + V_3 + \dots$

ধরো, সমগ্র সমবায়ের পরিবর্তে C_s ধারকত্বের একটি ধারক বসানো হল—যা সমগ্র সমবায়ের তুল্য (equivalent) ; অর্থাৎ ঐ একক ধারকের অন্তরিত প্লেটে $+Q$ তড়িতাধান দিলে তার প্লেট দুটির ভিতর বিভব পার্থক্য হবে V ; অতএব, $V = \frac{Q}{C_s}$

আবার, সমবায়ের পৃথক ধারকগুলির ধারকত্ব যথাক্রমে C_1, C_2, C_3 ইত্যাদি হলে আমরা লিখতে পারি, $V_1 = \frac{Q}{C_1}$; $V_2 = \frac{Q}{C_2}$ ইত্যাদি।

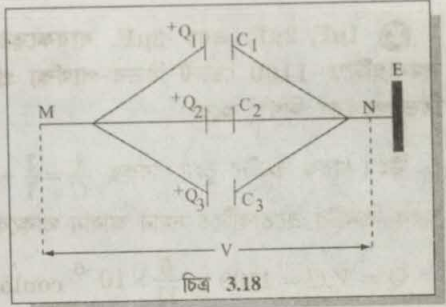
অতএব, (i) নং সমীকরণ হতে লেখা যায়, $\frac{Q}{C_s} = \frac{Q}{C_1} + \frac{Q}{C_2} + \frac{Q}{C_3} + \dots$

অথবা, $\frac{1}{C_s} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} + \dots$

অর্থাৎ পৃথক ধারকগুলির ধারকত্বের বিপরীত মান (reciprocal value) যোগ দিলে তুল্য ধারকের ধারকত্বের বিপরীত মান পাওয়া যায়। উল্লেখযোগ্য যে শ্রেণি সমবায়ের ফলে মোট তুল্যধারকত্ব যে-কোনো একটি ধারকের ধারকত্ব অপেক্ষা কম হয় কিন্তু এই ব্যবস্থার দ্বারা উচ্চ বিভব-প্রভেদ উৎপন্ন করা যায়।

(খ) সমান্তরাল সমবায় (Parallel combination) : এই ব্যবস্থায় বিভিন্ন ধারকের অন্তরিত প্লেটগুলি একটি বিন্দুতে (M) এবং অন্য প্লেটগুলি অন্য এক বিন্দুতে (N) সংযুক্ত। M বিন্দুর সাথে কোনো

তড়িৎ-উৎস যোগ করা হয় এবং N-বিন্দুকে ভূ-সংলগ্ন রাখা হয় (চিত্র 3.18)। এই ব্যবস্থায় প্রত্যেক পৃথক ধারকের অন্তরিত পাত তড়িৎ-উৎসের সাথে এবং অন্য পাত ভূ-সংলগ্ন হওয়ায় প্রত্যেক ধারকেরই বিভব-প্রভেদ হবে V ; M বিন্দুতে তড়িতাধান দিলে ধারকগুলির ধারকত্ব অনুযায়ী তড়িতাধান তাদের মধ্যে ছড়িয়ে পড়বে। ধারকগুলির তড়িতাধান Q_1, Q_2, Q_3 ইত্যাদি হলে মোট তড়িতাধান $Q = Q_1 + Q_2 + Q_3 \dots$ (i)



ধরো, সমগ্র সমবায়ের পরিবর্তে C_p ধারকত্বের একটি ধারক বসানো হল—যা সমগ্র সমবায়ের তুল্য; অর্থাৎ, ঐ একক ধারকের অন্তরিত প্লেটে $+Q$ তড়িতাধান দিলে তার প্লেট দুটির বিভব পার্থক্য হবে V ; অতএব, $Q = C_p V$.

আবার সমবায়ের পৃথক ধারকগুলির ধারকত্ব যথাক্রমে C_1, C_2, C_3 ইত্যাদি হলে আমরা লিখতে পারি, $Q_1 = C_1 V$; $Q_2 = C_2 V$ ইত্যাদি।

অতএব (i) নং সমীকরণ হতে লেখা যায়, $C_p V = C_1 V + C_2 V + C_3 V + \dots$

$$\text{অথবা, } C_p = C_1 + C_2 + C_3 + \dots$$

অর্থাৎ, সমান্তরাল সমবায়ের বেলায়, পৃথক ধারকগুলির ধারকত্বের সমষ্টি তুল্য ধারকের ধারকত্বের সমান। উল্লেখযোগ্য যে সমান্তরাল সমবায়ের ফলে মোট ধারকত্ব অনেক বৃদ্ধি পায়।

[দ্রষ্টব্য : ধারক এবং রোধক (resistor)-এর এই দুই প্রকার সমবায়ের ফলাফল ঠিক বিপরীত।]

● ধারকের সমবায় সম্বন্ধে গুরুত্বপূর্ণ তথ্য :

(i) ধারকের সমান্তরাল সমবয়ে, সকল ধনাত্মক প্লেটগুলির বিভব সমান এবং ঋণাত্মক বিভবও সমান। সমবায়ের প্রত্যেকটি ধারকের বিভব প্রভেদ সমান কিন্তু আধানের পরিমাণ সমান নাও হতে পারে।

ধারকের শ্রেণি সমবয়ে, সকল ধারকের আধান সমান কিন্তু বিভব-প্রভেদ সমান নাও হতে পারে।

(ii) সমান্তরাল সমবায়ের ফলে, মোট ধারকত্ব বৃদ্ধি পায় কিন্তু শ্রেণি সমবায়ের ফলে মোট ধারকত্ব যে-কোনো একটি ধারকের ধারকত্ব অপেক্ষা কম হয়।

□ EXAMPLES □

1. দুটি ধারকের ধারকত্ব যথাক্রমে 10 এবং 15 cgs একক। প্রথমোক্ত ধারকটিকে 10 একক এবং দ্বিতীয়োক্তটিকে 5 cgs একক বিভবে আহিত করা হল। ধারক দুটিকে সমান্তরাল সমবয়ে যুক্ত করলে তাদের সাধারণ বিভব কত হবে?

উঃ। প্রথম ধারকের তড়িতাধান $q_1 = \text{ধারকত্ব} \times \text{বিভব} = 10 \times 10 = 100$ একক

দ্বিতীয় ,, ,, $q_2 = \text{ধারকত্ব} \times \text{বিভব} = 15 \times 5 = 75$ একক

মোট আধান = $q_1 + q_2 = 100 + 75 = 175$ একক

যেহেতু ধারকদ্বয় সমান্তরাল সমবয়ে যুক্ত সেইহেতু তাদের মোট ধারকত্ব = $10 + 15 = 25$

একক

$$\therefore \text{সাধারণ বিভব} = \frac{\text{মোট তড়িতাধান}}{\text{মোট ধারকত্ব}} = \frac{175}{25} = 7 \text{ একক.}$$

২. $1\mu\text{F}$, $2\mu\text{F}$ এবং $3\mu\text{F}$ ধারকত্বের তিনটি ধারককে শ্রেণি সমবায়ে যুক্ত করে সমবায়ে 1100 ভোল্ট বিভব-পার্থক্য প্রয়োগ করা হল। প্রত্যেকটি ধারকের আধান ও বিভবপার্থক্য নির্ণয় করো।

উঃ। ধারক তিনটির তুল্য ধারকত্ব $\frac{1}{C} = \frac{1}{1} + \frac{1}{2} + \frac{1}{3} = \frac{11}{6} \therefore C = \frac{6}{11}\mu\text{F} = \frac{6}{11} \times 10^{-6}\text{F}$
 ধারক তিনটির প্রত্যেকটিতে সমান আধান থাকবে। এই আধান Q হলে,

$$Q = V.C = 1100 \times \frac{6}{11} \times 10^{-6} \text{ coulomb} = 6 \times 10^{-4} \text{ coulomb}$$

$$\text{আবার, প্রথম ধারকের বিভব পার্থক্য } V_1 = \frac{Q}{C_1} = \frac{6 \times 10^{-4}}{1 \times 10^{-6}} = 600 \text{ V}$$

$$\text{দ্বিতীয় ,, ,, } V_2 = \frac{Q}{C_2} = \frac{6 \times 10^{-4}}{2 \times 10^{-6}} = 300 \text{ V}$$

$$\text{তৃতীয় ,, ,, } V_3 = \frac{Q}{C_3} = \frac{6 \times 10^{-4}}{3 \times 10^{-6}} = 200 \text{ V}$$

৩. বায়ু মাধ্যমযুক্ত একটি সমান্তরাল পাত ধারকের ধারকত্ব $= C$; যদি ধারকটিকে 1.6 পরা-বৈদ্যুতিক ধ্রুবক (dielectric constant) বিশিষ্ট একটি তেলে অর্ধনিমজ্জিত করা হয় যাতে পাত দুটি তেলের উপরিতলের সাথে লম্বভাবে থাকে, তাহলে ধারকটির ধারকত্ব কত হয়?

উঃ। যেহেতু ধারকটি তেলে অর্ধনিমজ্জিত, সেইহেতু বায়ুপূর্ণ অপারার্ধের ধারকত্ব হবে $C_1 = \frac{C}{2}$

$$\text{পর্যাবৃত্ত তেলযুক্ত নিমজ্জিত অর্ধেক ধারকের ধারকত্ব } C_2 = K \cdot \frac{C}{2} = \frac{1.6 C}{2} = 0.8 C$$

এখন, তেলে নিমজ্জিত করলে এই দুটি ধারক সমান্তরাল সমবায়ে আছে বলে মনে করা যেতে পারে কারণ উভয় ধারকের ধনাত্মক তড়িৎযুক্ত প্লেট এক জায়গায় এবং ঋণাত্মক তড়িৎযুক্ত প্লেট অন্য জায়গায় আবদ্ধ। তাই সমগ্র ধারকের ধারকত্ব হবে,

$$C = C_1 + C_2 = \frac{C}{2} + 0.8 C = 1.3 C.$$

৪. A , B এবং C তিনটি ধারক-কে এরূপভাবে যুক্ত করা আছে যে তাদের তুল্য ধারকত্ব B -এর ধারকত্বের সমান। A এবং B ধারকদ্বয়ের ধারকত্ব যথাক্রমে $10\mu\text{F}$ এবং $30\mu\text{F}$ এবং $C \neq 0$; C ধারকের সম্ভাব্য তিনটি মান বার করো এবং সেই তিনটি ক্ষেত্রে ধারকগুলি কীভাবে যুক্ত আছে দেখাও।

উঃ। এটা সহজেই বোঝা যায় A এবং C -কে শ্রেণি অথবা সমান্তরাল সমবায়ে যুক্ত করে তার সাথে B -কে সমান্তরাল সমবায়ে যুক্ত করা যাবে না কারণ সেক্ষেত্রে তুল্য ধারকত্ব $30\mu\text{F}$ -এর বেশি হবে।

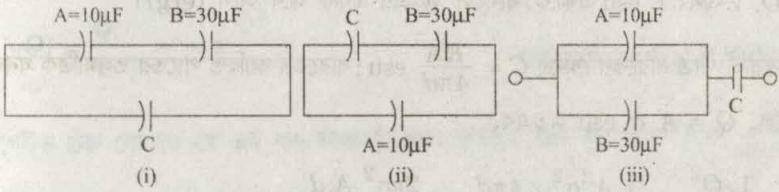
(i) A এবং B ধারকদ্বয়কে শ্রেণি সমবায়ে যুক্ত করে তার সাথে C ধারক-কে সমান্তরাল সমবায়ে

$$[\text{চিত্র 3.19 (i)}] \text{ রাখলে তাদের তুল্য ধারকত্ব } = \frac{30 \times 10}{30 + 10} + C = \frac{300}{40} + C$$

প্রশ্নানুযায়ী, $\frac{300}{40} + C = 30$ অথবা $C = 22.5 \mu\text{F}$

(ii) B এবং C ধারকদ্বয়কে শ্রেণি সমবায়ের যুক্ত করে তার সাথে A ধারককে সমান্তরাল সমবায়ে [চিত্র 3.19 (ii)] রাখলে, তাদের তুল্য ধারকত্ব $\frac{30 \times C}{30 + C} + 10$; প্রশ্নানুযায়ী $\frac{30 \times C}{30 + C} + 10 = 30$

অথবা $\frac{30 \times C}{30 + C} = 20 \therefore C = 60 \mu\text{F}$.



চিত্র 3.19

(iii) A এবং B ধারকদ্বয়কে সমান্তরাল সমবায়ে যুক্ত করে তার সাথে C ধারককে শ্রেণি সমবায়ে রাখলে [চিত্র 3.19(iii)] তাদের তুল্য ধারকত্ব $= 1 / \left(\frac{1}{40} + \frac{1}{C} \right) = \frac{40 \times C}{40 + C}$;

প্রশ্নানুযায়ী $\frac{40 \times C}{40 + C} = 30 \therefore C = 120 \mu\text{F}$.

[দ্রষ্টব্য : রোধক নিয়ে অনুরূপ অঙ্ক হতে পারে। ছাত্রছাত্রীরা অনুশীলনী হিসাবে এই অঙ্ক কষতে পারে।]

5. 64টি ক্ষুদ্র জলবিন্দুর প্রত্যেকটিকে 220 volt বিভব দিয়ে তড়িতাঙ্কিত করা হল। বিন্দুগুলি একসঙ্গে মিশে একটি বড়ো বিন্দু গঠন করলে, তার বিভব কি হবে?

উঃ। ধরো, প্রত্যেক ছোটো বিন্দুর ব্যাসার্ধ $= r$ এবং বড়ো বিন্দুর $= R$; যেহেতু ছোটো বিন্দুগুলির মোট আয়তন বড়ো বিন্দুর আয়তনের সমান, সেইহেতু $\frac{4}{3} \pi R^3 = 64 \times \frac{4}{3} \pi r^3$ অথবা $R^3 = 64 \times r^3$ অথবা $R = 4r$.

এখন, প্রত্যেক ছোটো বিন্দুর ধারকত্ব $C_1 = 4\pi\epsilon_0 r$

তেমনি, বড়ো ,, ,, ,, ,, $C_2 = 4\pi\epsilon_0 R$

প্রত্যেকটি ছোটো বিন্দুর তড়িতাধান, $q_1 = C_1 V_1 = 4\pi\epsilon_0 r \times 220 = 4\pi\epsilon_0 \times 220 r$

বড়ো বিন্দুতে তড়িতাধান $q_2 = 64 \times q_1 = 64 \times 4\pi\epsilon_0 \times 220 r$

$$\therefore \text{বড়ো বিন্দুর বিভব} = \frac{\text{তার আধান}}{\text{তার ধারকত্ব}} = \frac{q_2}{C_2} = \frac{64 \times 4\pi\epsilon_0 \times 220 r}{4\pi\epsilon_0 R} = \frac{64 \times 220 r}{4r} = 3520 \text{ volt.}$$

3.13.

(a) আহিত ধারকে সঞ্চিত শক্তি (Energy stored in a charged capacitor) :

ধারককে আহিত করতে যে কার্য সম্পাদিত হয় সেটা ধারকে স্থিতিশক্তি রূপে সঞ্চিত থাকে। 3.5 অনুচ্ছেদের মতো প্রমাণ করা যায় যে, কোনো ধারকের তড়ি্তাধান Q , ধারকত্ব C এবং ধারকের পাতদ্বয়ের

বিভব-প্রভেদ V হলে, ধারকের স্থিতিশক্তি $W = \frac{1}{2} \cdot \frac{Q^2}{C} = \frac{1}{2} Q \cdot V = \frac{1}{2} C \cdot V^2$.

(i) Q , V এবং C esu এককে থাকলে W -এর একক হবে আর্গ (erg)।

সমান্তরাল পাত ধারকের ক্ষেত্রে $C = \frac{KA}{4\pi d}$ esu ; ধারকের আহিত পাতের তলমাত্রিক ঘনত্ব σ esu/cm² হলে, $Q = A \cdot \sigma$ esu অতএব,

$$W = \frac{1}{2} \frac{Q^2}{C} = \frac{1}{2} \frac{A^2 \sigma^2 \times 4\pi d}{KA} = \frac{2\pi \sigma^2 A \cdot d}{K} \text{ erg}$$

(ii) যদি Q coulomb, V volt এবং C farad -এ প্রকাশ করা হয় তবে, W joule এককে প্রকাশিত হবে।

সমান্তরাল পাত ধারকের বেলায় এস. আই. পদ্ধতিতে $C = \frac{k \cdot \epsilon_0 A}{d}$ ফ্যারড। এখানে A metre² এবং d metre -এ প্রকাশ করতে হবে। ধারকের অন্তরিত পাতের আধানের তলমাত্রিক ঘনত্ব σ coulomb/m² হলে $Q = A \cdot \sigma$ coulomb। কাজেই, এস. আই. পদ্ধতিতে সমান্তরাল পাত ধারকের স্থিতিশক্তি

$$W = \frac{1}{2} \cdot \frac{Q^2}{C} = \frac{1}{2} \frac{A^2 \cdot \sigma^2 \cdot d}{K \cdot \epsilon_0 A} \text{ J} = \frac{\sigma^2 A \cdot d}{2 \times 8.85 \times K} \times 10^{12} \text{ J} \quad [\epsilon_0 = 8.85 \times 10^{-12}]$$

[ক্যালকুলাসের সাহায্যে বিকল্প পদ্ধতি :

ধরা, ধারকের চার্জিং-এর সময় কোনো এক মুহূর্তে ধারকে q পরিমাণ তড়ি্তাধান আছে। ঐ সময় ধারকের দুই পাতের বিভব-প্রভেদ v হলে, আমরা লিখতে পারি $q = C \cdot v$ [C = ধারকত্ব]। এখন যদি ধারক-কে সামান্য পরিমাণ তড়ি্তাধান dq দেওয়া হয়, তবে তার জন্য যে কার্য সম্পন্ন হবে তা $dW = v \times dq$.

ধারক-কে Q পরিমাণ আধান দিলে, মোট কৃতকার্য

$$W = \int dW = \int_0^Q v \times dq = \int_0^Q \frac{q}{C} dq = \left[\frac{q^2}{2C} \right]_0^Q = \frac{Q^2}{2C}$$

$$\therefore W = \frac{1}{2} \cdot \frac{Q^2}{C} = \frac{1}{2} CV^2 = \frac{1}{2} QV.]$$

(b) আহিত ধারকের দুই প্লেটের ভিতর বল (Force between the plates of a capacitor) :

একটি সমান্তরাল পাত ধারকের দুই প্লেটের কথা বিবেচনা করো। যে-কোনো প্লেটের ক্ষেত্রফল = α । ধরা যাক $+Q$ তড়ি্তাধান এক প্লেটে এবং $-Q$ তড়ি্তাধান অন্য প্লেটে সরবরাহ করা হল

(চিত্র 3.20)। কেবল মাত্র পজিটিভ শ্রেটের জন্য শ্রেটের

$$\text{প্রতিবিন্দুতে তড়িৎক্ষেত্র } E_+ = \frac{\sigma}{2\epsilon_0} = \frac{Q}{2\epsilon_0 \cdot \alpha}$$

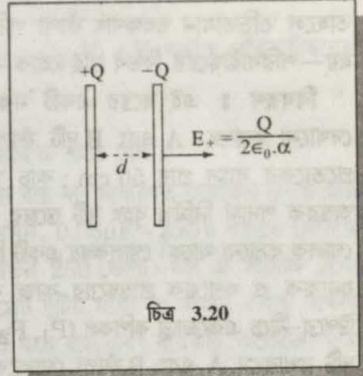
[σ = শ্রেটের আধানের তলমাত্রিক ঘনত্ব]

এখন, আমরা মনে করতে পারি যে $-Q$ তড়িৎআধান E_+ তড়িৎক্ষেত্রে স্থাপিত আছে।

অতএব, $-Q$ তড়িৎআধানের উপর বল,

$$F = -Q \cdot E$$

$$= (-Q) \frac{Q}{2\epsilon_0 \cdot \alpha} = -\frac{Q^2}{2\epsilon_0 \cdot \alpha}$$



চিত্র 3.20

নেগেটিভ চিহ্ন বোঝায় যে এই বল আকর্ষণী বল। সুতরাং শ্রেট দুটি পরস্পরকে $\frac{Q^2}{2\epsilon_0 \cdot \alpha}$ বলে

আকর্ষণ করবে।

□ EXAMPLES □

১. $2 \mu\text{F}$ এবং $4 \mu\text{F}$ ধারকত্বের দুটি ধারককে সমান্তরাল সমবায়ে আবদ্ধ করে তাহাদের প্রান্তে 300 volt বিভব-পার্থক্য প্রয়োগ করা হল। সমবায়ে মোট কত শক্তি সঞ্চিত হল নির্ণয় করো।

উঃ। সমান্তরাল সমবায়ে মোট ধারকত্ব $C = 2 + 4 = 6 \mu\text{F} = 6 \times 10^{-6} \text{ farad}$ ।

সুতরাং সঞ্চিত শক্তি $W = \frac{1}{2} CV^2 = \frac{1}{2} \times (6 \times 10^{-6}) \times (300)^2 = 27 \times 10^{-2} \text{ joule}$ ।

২. 1 metre^2 ক্ষেত্রফলযুক্ত দুটি পিতলের শ্রেট পরস্পর হতে 10 cm দূরে সমান্তরাল ভাবে রেখে একটি সমান্তরাল-পাত ধারক তৈরি করা হয়েছে। শ্রেট দুটির ভিতরকার জায়গা একটি কাচফলক অধিকার করলে এবং ধারকের তড়িৎআধান শ্রেটের আধানের তলমাত্রিক ঘনত্ব $0.01 \text{ coulomb/cm}^2$ হলে, ধারকের স্থিতিশক্তি নির্ণয় করো। কাচের আপেক্ষিক আবেশিক ধারকত্ব = 8।

উঃ। $W = \frac{\sigma^2 A \cdot d}{2 \times 8.85 \times k} \times 10^{12} \text{ J}$ [3.13 (ii) অনুচ্ছেদ দ্রষ্টব্য]

এখানে, $\sigma = 0.01 \text{ coulomb/cm}^2 = 0.01 \times 10^4 \text{ coulomb/m}^2 = 100 \text{ C/m}^2$; $A = 1 \text{ m}^2$; $d = 10 \text{ cm} = 0.1 \text{ m}$ এবং $k = 8$ ।

$$\therefore W = \frac{(100)^2 \times 1 \times 0.1 \times 10^{12}}{2 \times 8.85 \times 8} = 70.6 \times 10^{11} \text{ J}$$

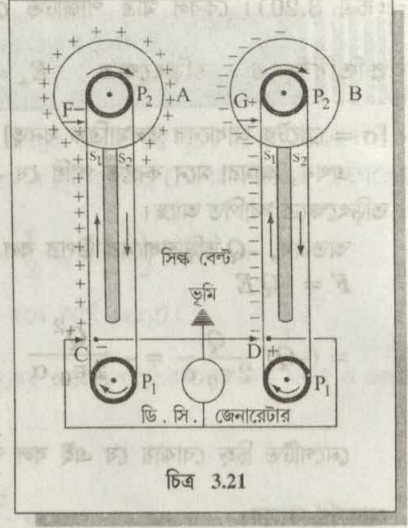
3.14 > ভ্যান-ডি-গ্রাফ জেনারেটর (Van-de-Graff generator) :

এই যন্ত্রের সাহায্যে অন্যান্য সকল যন্ত্র অপেক্ষা বেশি বিভব-প্রভেদ উৎপন্ন করা যায়। আজকাল পারমাণবিক শক্তি গবেষণাগারে এই যন্ত্র খুব ব্যবহৃত হচ্ছে। 1931 খ্রিস্টাব্দে যুক্তরাষ্ট্রের প্রিন্সটন বিশ্ববিদ্যালয়ে রবার্ট ভ্যান-ডি-গ্রাফ এই যন্ত্র নির্মাণ করেন।

সূচিমুখের ক্ষরণ-ক্রিয়া এবং ফাঁপা গোলকের সংগ্রাহক ক্রিয়ার ওপর এই যন্ত্রের নীতি প্রতিষ্ঠিত। যদি একটি তড়িৎআধান পরিবাহীকে কোনো ফাঁপা পরিবাহীর ভিতরের পৃষ্ঠের সাথে সংস্পর্শে আনা যায়

তাহলে তড়িতাধান তৎক্ষণাৎ ফাঁপা পরিবাহীতে স্থানান্তরিত হয়—পরিবাহীদ্বয়ের বিভব যাই হোক না কেন।

বিবরণ : এই যন্ত্রের একটি নকশা 3.21 নং চিত্রে দেখানো হয়েছে। A এবং B দুটি ফাঁপা ধাতব গোলক—প্রত্যেকের ব্যাস প্রায় 50 cm ; কাচ অথবা অন্য কোনো অন্তরক পদার্থ নির্মিত বৃহৎ দুটি স্তম্ভের (XX) ওপর এই দুটি গোলক বসানো থাকে। গোলকদ্বয় একটি ডি. সি. জেনারেটরের ধনাত্মক ও ঋণাত্মক প্রান্তদ্বয়ের কাজ করে। প্রত্যেক স্তম্ভে উপরে—নীচে একজোড়া কপিকল (P_1, P_2) আছে। P_2 কপিকল দুটি যথাক্রমে A এবং B ফাঁপা গোলকের মধ্যে অবস্থিত। প্রত্যেক জোড়া কপিকলের গা বেয়ে সিঙ্ক অথবা অন্য কোনো নমনীয় অন্তরক পদার্থের একটি করে বেল্ট তির চিহ্নের দিকে ঘুরতে থাকে। বেল্ট S_1 ছিদ্রের মধ্য দিয়ে ফাঁপা গোলকের অভ্যন্তরে প্রবেশ করে এবং S_2 ছিদ্র দিয়ে বার হয়ে আসে।



চিত্র 3.21

কার্যপ্রণালী : দক্ষিণ দিকের বেল্টের D বিন্দুর কাছে যে ক্ষুদ্র গোলক আছে তা ডি.সি. জেনারেটর থেকে ধনাত্মক তড়িতাধান পায়। আবেশের দরুন তার সম্মুখস্থ সূচিমুখ ঋণাত্মক তড়িৎ পায় এবং মুক্ত তড়িৎ মাটিতে চলে যায়। সূচিমুখের ক্ষরণ-ক্রিয়ার জন্য তার ঋণাত্মক আধান বেল্টে ক্ষরিত হয় এবং বেল্ট এই আধান উর্ধ্বমুখী নিয়ে যায়। এভাবে বাহিত হয়ে যখন ঋণাত্মক আধান ফাঁপা গোলক B এর মধ্যে প্রবেশ করে তখন তা গোলকের গায়ে আবদ্ধ আর একটি সূচিমুখ G এর সম্মুখীন হয়। পুনরায় আবেশের জন্য সূচিমুখ ধনাত্মক তড়িৎ পায় এবং B ঋণাত্মক তড়িৎ পায়। G এর ধনাত্মক আধান বেল্টের আধান কর্তৃক শীঘ্রই প্রশমিত হয়। ফলে গোলক B ঋণাত্মক তড়িতে আহিত হয়। একইভাবে, বামদিকের বেল্টের C সূচিমুখ তার সম্মুখস্থ ক্ষুদ্র গোলক হতে আবেশের জন্য ধনাত্মক আধান পেয়ে তা বেল্টে ক্ষরিত করে এবং বেল্ট এই ধনাত্মক তড়িৎ A গোলকে জমা দেয়। এভাবে বৈদ্যুতিক মোটরের দ্বারা বেল্ট ক্রমাগত ঘোরালে A এবং B গোলকে ক্রমাগত ধনাত্মক এবং ঋণাত্মক আধান জমা হতে থাকবে এবং তাদের বিভব-পার্থক্য বৃদ্ধি পেতে থাকবে। গোলকদ্বয়ের বিভব-পার্থক্য বৃদ্ধি পাবার সঙ্গে সঙ্গে বায়ুতে তড়িৎমোক্ষণ হবার সম্ভাবনা থাকে ; কারণ স্বাভাবিক চাপে বায়ু খুব বেশি তড়িৎচাপ সহ্য করতে পারে না। তড়িৎমোক্ষণ নিবারণের জন্য গোলক ও বেল্টকে যথাসম্ভব মসৃণ করা হয় এবং সমগ্র যন্ত্রকে বৃহৎ ধাতব প্রকোষ্ঠে আবদ্ধ রেখে প্রকোষ্ঠকে উচ্চচাপের শুষ্ক বায়ু দ্বারা পূর্ণ করা হয়।

বলা বাহুল্য, এই যন্ত্রটি উদ্ভাবনের পর আজ পর্যন্ত এর অনেক পরিবর্তন হয়েছে। ওয়াশিংটন শহরের কার্ণেগী ইনস্টিটিউটে এবং ইউসকনসিন বিশ্ববিদ্যালয়ে অতি আধুনিক ও বিরাটকায় ভ্যান-ডি-গ্রাফ জেনারেটর যন্ত্র আছে। এই যন্ত্র দ্বারা প্রায় 50 লক্ষ ভোল্ট বিভব-প্রভেদ উৎপন্ন করা যায়।

এই পরিচ্ছেদের বিষয়বস্তু সম্পর্কে কয়েকটি প্রশ্ন (Some typical problems of this chapter)

1. দুটি পরিবাহীতে সমধর্মী সমপরিমাণ তড়িতাধান আছে। পরিবাহী দুটির ভিতর কি বিভব-পার্থক্য থাকা সম্ভব ?
- যদি পরিবাহী দুটির ধারকত্ব ভিন্ন হয়, তবে, তড়িতাধানের পরিমাণ সমান হলেও তাদের ভিতর বিভব-পার্থক্য থাকবে। যদি তাদের ধারকত্ব যথাক্রমে C_1 এবং C_2 হয়, তবে প্রথম পরিবাহীর

বিভব $V_1 = \frac{Q}{C_1}$ এবং দ্বিতীয়টির $V_2 = \frac{Q}{C_2}$ যেহেতু $C_1 \neq C_2$, $V_1 \neq V_2$ অর্থাৎ পরিবাহীদ্বয়ের ভিতরে একটি বিভব-পার্থক্য থাকবে।

2. কোনো ধারক-কে যে-কোনো উচ্চমানের বিভবে আহিত করা যায় ?

- কোনো ধারক-কে যে-কোনো উচ্চমানের বিভবে আহিত করা যায় না। সাধারণত ধারকের উপর তার ধারকত্ব ও সর্বাধিক প্রযোজ্য বিভবের মান লেখা থাকে। যেমন, $0.05\mu\text{F} - 250\text{V}$ বলতে বোঝায় ঐ ধারকত্ব $0.05\mu\text{F}$ এবং ঐ ধারকে সর্বাধিক প্রযোজ্য বিভব 250 ভোল্ট। যদি ঐ ধারকে 250 volt-এর বেশি বিভব প্রয়োগ করা হয় তাহলে ধারকের প্লেট দুটির মধ্যে যে মাধ্যম (বায়ু অথবা কোনো পরাবিদ্যুৎ) থাকে তার অন্তরণ (insulation) নষ্ট হয়ে যায় এবং ধারকটি অকেজো হয়ে পড়ে।

3. একটি পরিবাহী গোলকের ব্যাসার্ধ 1cm। গোলকটি কী 1 coulomb আধান ধরে রাখতে সমর্থ হবে ?

- R মিটার ব্যাসার্ধের গোলকের ধারকত্ব $C = 4\pi\epsilon_0 R$; কাজেই 1 cm অথবা 0.01 m ব্যাসার্ধের গোলকের ধারকত্ব $C = 4\pi\epsilon_0 \times 0.01$ ফ্যারাড। ঐ গোলক-কে 1 coulomb তড়িতাধান দিলে, তার বিভব হবে

$$V = \frac{Q}{C} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0 \times 0.01} = \frac{1}{4 \times 3.14 \times (8.85 \times 10^{-12}) \times 0.01} = 8.9 \times 10^{11} \text{ volt}$$

এই পরিমাণ উচ্চ বিভবে গোলকের চতুর্দিকের বায়ুস্তরের অন্তরণ (insulation) সম্পূর্ণরূপে ভেঙে পড়বে এবং গোলক হতে স্ফুলিঙ্গ (spark) নির্গত হয়ে আধান ক্ষরিত হতে থাকবে। সুতরাং ঐ গোলকটি 1 coulomb আধান ধরে রাখতে সমর্থ হবে না।

4. ধারকে ব্যবহৃত তরল পরাবিদ্যুতের তুলনায় কঠিন পরাবিদ্যুতের সুবিধা কি ?

- ধারকে পরাবিদ্যুৎ ব্যবহার করলে ধারকের ধারকত্ব সাধারণভাবে বৃদ্ধি পায়। ফলে, একই বিভব-প্রভেদে ধারক বেশি পরিমাণে আধান সঞ্চিত করতে পারে। এই পরিপ্রেক্ষিতে, তরল পরাবিদ্যুতের তুলনায় কঠিন পরাবিদ্যুতের কয়েকটি সুবিধা আছে।
 - কঠিন পরাবিদ্যুতের পরাবৈদ্যুতিক ধ্রুবকের মান তরল পরাবিদ্যুতের তুলনায় বেশি বলে (যেমন, কাচের $k = 5.6$; বেনজিনের $= 2.6$) কঠিন পরাবিদ্যুৎ ব্যবহার করলে, ধারকের ধারকত্ব বেশি বৃদ্ধি পায়।
 - কঠিন পরাবিদ্যুৎ ব্যবহার করলে ধারক-কে উচ্চ বিভবে আহিত করা যায়।
 - ধারকের পাত দুটির মধ্যে কঠিন পরাবিদ্যুৎ থাকলে, পাতদুটি পরস্পর ঠেকে যেতে পারে না।

5. একটি সাবান-জলের বুদবুদকে তড়িতাহিত করা হল। বায়ুতে ভাসমান অবস্থায় বুদবুদটি আয়তনে প্রসারিত হতে থাকলে, তার বিভবের কী পরিবর্তন হবে ?

- সাবান-জলের বুদবুদকে গোলায় পরিবাহী হিসাবে গণ্য করা যায়। বায়ুতে থাকাকালীন গোলায় পরিবাহীর ধারকত্ব তার ব্যাসার্ধের সমানুপাতিক ; সুতরাং বুদবুদের ধারকত্বও বুদবুদের ব্যাসার্ধের সমানুপাতিক। এখন, বুদবুদটি প্রসারিত হলে, তার ব্যাসার্ধ বৃদ্ধি পায়। ফলে, বুদবুদের ধারকত্ব বৃদ্ধি পায়।

এখন, বিভব $V = \frac{\text{আধান } (Q)}{\text{ধারকত্ব } (C)}$; আধান (Q) অপরিবর্তিত রেখে, ধারকত্ব বৃদ্ধি করলে উত্ত

সমীকরণ হতে বোঝা যায় যে বিভব V ক্রমশ হ্রাস পায়। অতএব, বায়ুতে ভাসমান অবস্থায় বুদবুদটি প্রসারিত হলে, তার বিভব ক্রমশ হ্রাস পাবে।

6. “অন্তরিত একটি গোলককে তড়িতাহিত করলে তাকে ধারক হিসাবে গণ্য করা যায়।” ব্যাখ্যা করো।

● কোনো গোলকীয় ধারকের ভিতরের গোলকটির ব্যাসার্ধ r_1 এবং বাইরের ভূ-সংলগ্ন গোলকটির

$$\text{ব্যাসার্ধ } r_2 \text{ হলে, বায়ু মাধ্যমে তার ধারকত্ব } C = \frac{4\pi\epsilon_0 r_1 r_2}{r_2 - r_1} \text{ F [3.11 (গ) অনুচ্ছেদ দ্রষ্টব্য]।}$$

$$\text{এ ধারকত্বকে নিম্নলিখিতরূপে লেখা যায় } C = \frac{4\pi\epsilon_0 r_1}{1 - \frac{r_1}{r_2}}; \text{ এখন, } r_2 = \infty \text{ হলে,}$$

$$C = 4\pi\epsilon_0 r_1 = \text{ভিতরের গোলকের ব্যাসার্ধ} \times 4\pi\epsilon_0।$$

এই ধরনের ধারকের ধারকত্ব অন্তরিত একক গোলকের ধারকত্বের সমান। কাজেই, একটি অন্তরিত গোলককে তড়িতাহিত করলে, তাকে একটি ধারক হিসাবে গণ্য করা যায়—যে ধারকের বাইরের আবরণটি (outer coating) অসীম দূরত্বে অবস্থিত।

7. ধরো, কোনো ধারকের পজিটিভ প্লেটে $+Q_1$ আধান এবং নেগেটিভ প্লেটে $-Q_1$ আধান দেওয়া হল। এই অবস্থায় ‘ধারকের তড়িতাধান’ কত?

● ধারকের তড়িতাধান বলতে ধারকের পজিটিভ প্লেটে যে আধান থাকে তাই বুঝায়। এক্ষেত্রে ধারকের আধান $+Q_1$ । লক্ষ কর মোট আধানকে ধারকের আধান বলা হয় না কারণ মোট আধান $= +Q_1 - Q_1 = 0$ ।

8. সমব্যাসার্ধের একটি নিরেট এবং একটি ফাঁপা গোলকে সমপরিমাণ তড়িতাধান দেওয়া হল। তাদের ভিতর কোন্টির বিভব উচ্চতর?

● ব্যাসার্ধ সমান হওয়ায়, ফাঁপা এবং নিরেট যে-কোনো গোলকের ধারকত্ব সমান হবে কারণ $C = 4\pi\epsilon_0 \times \text{ব্যাসার্ধ}$ । আহিত গোলকের বিভব $V = Q/C$ । যেহেতু উভয় গোলকের তড়িতাধান (Q) সমান, সেইহেতু তাদের বিভবও সমান।

9. ধারকে পরাবিদ্যুৎ ব্যবহার করলে, তার ধারকত্ব বৃদ্ধি পায়। কারণ কী?

3.4 অনুচ্ছেদে বলা হয়েছে যে, K পরাবৈদ্যুতিক ধ্রুবক সম্পন্ন মাধ্যমে তড়িৎ প্রাবল্য $E = \frac{q}{4\pi K \epsilon_0 r^2}$ । প্রাবল্যের এই রাশিমালা হতে বলা যায় যে, বায়ু (অথবা শূন্যস্থান) অপেক্ষা

পরাবৈদ্যুতিক মাধ্যমে প্রাবল্য $1:K$ অনুপাতে হ্রাস পায়। বিভবপ্রভেদ প্রাবল্য এবং পাতদ্বয়ের দূরত্বের গুণফলের সমান ($V=Ed$) বলে পরাবৈদ্যুতিক মাধ্যমের উপস্থিতিতে ধারকের পাতদ্বয়ের বিভব-প্রভেদ স্পষ্টত K গুণ হ্রাস পাবে। আবার ধারকত্ব $C \propto \frac{1}{V}$ হওয়ায় বিভব-প্রভেদ K গুণ হ্রাস পেলে, ধারকত্ব K গুণ বর্ধিত হবে।

10. একটি সমান্তরাল পাত ধারক-কে চার্জ করার পর চার্জিং ব্যাটারিকে ধারক হতে খুলে ফেলা হল এবং প্লেট দুটির ভিতর একটি পরাবৈদ্যুতিক স্ল্যাব প্রবেশ করানো হল। প্রমাণ করো এতে ধারকের কিছু শক্তি ক্ষয় হবে। ক্ষয়িত শক্তি কোথায় যায়?

ধরি, ধারকের প্রাথমিক ধারকত্ব $= C_0$ এবং বিভব-প্রভেদ $= V_0$

$$\text{তাহলে, ধারকের প্রাথমিক শক্তি } U_0 = \frac{1}{2} C_0 V_0^2।$$

ব্যাটারি খুলে ফেলার পর ধারকের আধান অপরিবর্তিত থাকবে। এই অবস্থায় পরাবৈদ্যুতিক স্ল্যাব (পরাবৈদ্যুতিক ধ্রুবক $= K$) প্রবেশ করালে ধারকত্ব K গুণ বৃদ্ধি পাবে এবং বিভব-প্রভেদ K গুণ হ্রাস পাবে। অতএব,

$$\text{চূড়ান্ত শক্তি } U = \frac{1}{2} (KC_0) \left(\frac{V_0}{K} \right)^2 = \frac{1}{2} \frac{C_0 V_0^2}{K} = \frac{U_0}{K}$$

যেহেতু $K > 1$, সেইহেতু $U < U_0$; কাজেই ধারকের কিছু শক্তি ক্ষয় হল। এই ক্ষয়িত শক্তি পরাবৈদ্যুতিক স্ল্যাবে মেরুবর্তী শক্তিরূপে (polarisation energy) সঞ্চিত থাকে।

11. সমান ব্যাসার্ধের দুটি তামার গোলকের একটি নিরেট এবং অপরটি ফাঁপা। উভয়কে সমান বিভবে তড়িতাহিত করা হল। কোন্ গোলকে বেশি আধান থাকবে?

● গোলকের ধারকত্ব C এবং বিভব V হলে, তার আধান $Q = C.V$ আবার গোলকের ব্যাসার্ধ r হলে, তার ধারকত্ব $C = 4\pi\epsilon_0 r$ অতএব তার আধান $Q = 4\pi\epsilon_0 r.V$

এখন, গোলক দুটির ব্যাসার্ধ এবং বিভব সমান হওয়ায় বোঝা যাচ্ছে যে তাদের তড়িতাধান সমান।

12. ব্যাটারির সাহায্যে একটি ধারক-যে চার্জ করে ব্যাটারি খুলে ফেলা হল। গ্রেট দুটির ভিতর এখন একটা পরাবৈদ্যুতিক স্ল্যাব ঢুকিয়ে দিলে, ধারকের আধান, ধারকত্ব, বিভব-প্রভেদ এবং সঞ্চিত শক্তির কী পরিবর্তন হবে?

● ধারকের আধান পরাবিদ্যুতের ওপর নির্ভর করে না বলে, আধানের কোনো পরিবর্তন হবে না। পরাবৈদ্যুতিক স্ল্যাব ঢুকিয়ে দেওয়ায় ধারকের ধারকত্ব বৃদ্ধি পাবে।

ধারকের আধান অপরিবর্তিত আছে, অতএব ধারকত্ব বৃদ্ধি পেয়েছে। এথেকে বলা যায় ধারকের বিভব হ্রাস পেয়েছে কারণ $V = Q/C$ ।

ধারকের আধান অপরিবর্তিত থাকলে, সঞ্চিতশক্তি $E \propto \frac{1}{C}$; C বৃদ্ধি পাওয়ায়, শক্তি হ্রাস পাবে।

13. সমান্তরাল পাত ধারকের পাত দুটির ব্যবধান বৃদ্ধি করলে এবং গ্রেট দুটির মাঝে পরাবৈদ্যুতিক স্ল্যাব ঢোকালে, ধারকত্বের কি পরিবর্তন হয়?

● সমান্তরাল পাত ধারকের ধারকত্ব $C = \frac{\epsilon_0 \alpha}{d}$; d বৃদ্ধি করলে, C হ্রাস পাবে। পরাবৈদ্যুতিক স্ল্যাব

ঢোকানো অবস্থায় $C = \frac{K \cdot \epsilon_0 \alpha}{d}$; অতএব ধারকত্ব K গুণ বৃদ্ধি পাবে।

14. 5 cm ব্যাসার্ধের একটি ফাঁপা ধাতব গোলককে এরূপভাবে তড়িতাহিত করা হল যে তারপৃষ্ঠে তড়িৎ বিভব হল 2 volt। ঐ গোলকের কেন্দ্রে বিভব কত?

● ফাঁপা গোলকের অভ্যন্তরে বিভব সর্বত্র সমান এবং ঐ বিভব গোলকের বাইরের পৃষ্ঠের বিভবের সমান। অতএব, গোলকের কেন্দ্রে বিভব হবে 2 volt।

15. ধারকের দুই প্লেটের ভিতর পরাবিদ্যুৎ হিসাবে ধাতব পদার্থ ব্যবহার করা হয় না কেন?

● ধাতব পদার্থ তড়িতের পরিবাহী। পরাবিদ্যুৎ রূপে ধাতব পদার্থ ব্যবহার করলে, গ্রেট দুটির ভিতর সংক্ষেপ সংযোগ হবে (short circuiting) এবং ধারক থেকে তড়িৎক্ষরণ হবে। ধারক তড়িৎ ধরে রাখতে পারবে না।

16. দুটি গোলায় পরিবাহীর প্রত্যেকটিতে Q পরিমাণ আধান আছে। একটি গোলকের আয়তন অপরটির দ্বিগুণ। পরিবাহী দুটিকে তার দিয়ে যুক্ত করলে, তার দিয়ে আধানের প্রবাহ হবে কি? হলে, প্রবাহের অভিমুখ কী হবে?

● একটি পরিবাহীর আয়তন অপরটির দ্বিগুণ হওয়ায় বড় পরিবাহীর ব্যাসার্ধ অপরটির অপেক্ষা বেশি।

ফলে, তার ধারকত্ব বেশি হবে। এখন, $\text{বিভব} = \frac{\text{আধান}}{\text{ধারকত্ব}}$ । এ থেকে বোঝা যায় বড়ো পরিবাহীর বিভব

ছোটো আয়তনের পরিবাহী অপেক্ষা কম। সুতরাং তার দিয়ে যুক্ত করলে ছোটো আয়তনের পরিবাহী থেকে আধান তার বেয়ে বড়ো পরিবাহীতে প্রবাহিত হবে।

17. একই রকম n সংখ্যক ধারক-কে সমান্তরাল সমবায়ে যুক্ত করে সমবায়ের দুই প্রান্তে V বিভব-প্রভেদ প্রয়োগ করা হল। এখন ধারকগুলিকে শ্রেণি সমবায়ে যুক্ত করলে সমবায়ের দুই প্রান্তে বিভব-প্রভেদ কত হবে?

● ধরি, প্রত্যেকটি ধারকের ধারকত্ব $= C$; সমান্তরাল সমবায়ে থাকার ফলে, প্রত্যেক ধারকের আধান $Q = C.V$ এখন, ধারকগুলিকে শ্রেণি সমবায়ে যুক্ত করলে, মোট ধারকত্ব $C_S = \frac{C}{n}$ ।
আবার সমবায়ের মোট আধান $n.Q$ ।

$$\therefore \text{সমবায়ের প্রান্তস্থ বিভব প্রভেদ} = \frac{nQ}{C_S} = \frac{nQ}{C/n} = n^2 \cdot \frac{Q}{C} = n^2 \frac{CV}{C} = n^2 V.$$

18. দুটি সমান তড়িতাহিত ও সমান আয়তনের সাবান বুদবুদ এক সঙ্গে মিশে এদের মোট আয়তনের সমান একটি বড়ো বুদবুদে পরিণত হল। ছোটো বুদবুদ দুটির প্রত্যেকটির প্রাথমিক বিভব V হলে সংযুক্ত বড়ো বুদবুদটির বিভব কত?

● আয়তন হিসাব করলে, $R = (2)^{\frac{1}{3}} r$ [$R =$ বড়ো বুদবুদের ব্যাসার্ধ]

এখন, বড় বুদবুদের ধারকত্ব $= 4\pi\epsilon_0 . R = 4\pi\epsilon_0 . (2)^{\frac{1}{3}} . r$; বড়ো বুদবুদের তড়িতাধান $= Q + Q = 2Q$ ।

$$\therefore \text{বড়ো বুদবুদের বিভব} = \frac{\text{আধান}}{\text{ধারকত্ব}} = \frac{2Q}{4\pi\epsilon_0 (2)^{\frac{1}{3}} . r} = \frac{2.V}{(2)^{\frac{1}{3}}} \quad [V = \frac{Q}{4\pi\epsilon_0 r}]$$

$$= (2)^{\frac{2}{3}} . V \quad [V = \text{প্রত্যেকটি বুদবুদের বিভব}]$$

* প্রশ্নাবলি *

■ রচনাধর্মী প্রশ্ন

1. পরিবাহীর ধারকত্ব বলতে কী বোঝ? এই ধারকত্ব কোন্ কোন্ বিষয়ের উপর নির্ভর করে? পরীক্ষার সাহায্যে ব্যাখ্যা করো।
2. প্রমাণ করো যে পরিবাহী গোলকের ধারকত্ব গোলকের ব্যাসার্ধের সমানুপাতিক। ধারকত্বের ই. এস. ইউ. এবং ব্যাবহারিক একক কী? এদের ভিতর সম্পর্ক কী?
3. একটি আহিত পরিবাহীর স্থিতিশক্তি প্রকাশ করার রাশিমালা নির্ধারণ করো।
4. “একটি অন্তরিত পরিবাহীর ধারকত্ব কৃত্রিম উপায়ে বৃদ্ধি করার ব্যবস্থাকে তড়িৎ ধারক বলে” — এই উক্তির যথাযথ ব্যাখ্যা করো।
5. ধারক বলতে কী বুঝায়? ধারকের মূলনীতির ব্যাখ্যা দাও। ধারকের ধারকত্বের সংজ্ঞা দাও। কোন্ কোন্ বিষয়ের ওপর ধারকত্ব নির্ভর করে?
6. বায়ুমাধ্যমসহ একটি সমান্তরাল পাত ধারক বর্ণনা করো এবং তার ধারকত্বের একটি রাশিমালা নির্ণয় করো। সমান্তরাল পাত দুটির মধ্যে একখানি এবোনাইটের বস্তু প্রবেশ করালে ধারকত্বের কী পরিবর্তন হয়?

- সমান্তরাল পাত ধারকের ধারকত্ব কোন কোন বিষয়ের ওপর এবং কীভাবে নির্ণয় করে? জলের পরাবৈদ্যুতিক ধ্রুবক 80 বলতে কী বোঝায়?
- দেখাও যে সমান্তরাল পাত ধারকের ধারকত্ব $C = \frac{\epsilon_0 A}{d}$; এখানে A = যে-কোনো পাতের ক্ষেত্রফল এবং d = পাতদ্বয়ের পারস্পরিক দূরত্ব।
- C ধারকত্ব বিশিষ্ট একটি ধারককে E তড়িৎচালক বল বিশিষ্ট কোনো তড়িৎকৌশলের সঙ্গে যুক্ত করে রাখলে ধারকের পাতে তড়িৎআধান ও ধারকে মোট সঞ্চিত শক্তি কত হবে?
- একটি গোলায় ধারকের প্রকাশ করার একটি রাশিমালা নির্ধারণ করো।
- একটি গোলায় ধারকের দুটি গোলায় খোলকের (shells) ব্যাসার্ধ প্রায় সমান হলে এটি একটি সমান্তরাল পাত ধারকে পরিণত হয়। প্রমাণ করো।
- কতগুলি ধারককে (i) সমান্তরাল সমবায়ে এবং (ii) শ্রেণি সমবায়ে আবদ্ধ করলে তুল্য ধারকত্ব কত হবে নির্ণয় করো।
- একটি ভ্যান. ডি. গ্রাফ যন্ত্রের বর্ণনা দাও এবং কার্যপ্রণালী ব্যাখ্যা করো।

→ সংক্ষিপ্ত উত্তরের প্রশ্ন

- কোনো তড়িৎধারকের ধারকত্বকে একটি পাতের ধারণক্ষমতার সঙ্গে সচরাচর তুলনা করা হয়ে থাকে। পাতের আকার কি রকম হলে এই তুলনটি যথাযথ হবে?
[সংকেত : চোঙাকৃতি]
- একটি ধারকের ধারকত্ব 12 Farad —এই উত্তির ব্যাখ্যা করো।
- প্রমাণ করো ϵ_0 -এর একক ফ্যারাড/মিটার (F/m)।
- ধারকের ধারকত্ব ও বিভব কাকে বলে? আপেক্ষিক আবেশিক ধারকত্ব কী?
- ধারকের ধারকত্বের সংজ্ঞা লেখো। একটি সমান্তরাল পাত ধারকের ধারকত্ব কোন কোন বিষয়ের ওপর নির্ভর করে?
- সমান্তরাল পাত ধারকের ধারকত্বের রাশিমালা ঠিক নির্ভুল বলা যায় না। এর কারণ কী?
- একই ব্যাসার্ধের দুটি তামার গোলক—একটি ফাঁপা এবং অপরটি নিরেট। উভয়কে তড়িৎগ্রস্ত করে একই বিভব দেওয়া হল। কোনটিতে বেশি তড়িৎআধান থাকবে?
[সংকেত : দুটিতে একই পরিমাণ তড়িৎআধান থাকবে। তড়িৎআধান সর্বদা পরিবাহীর ওপরের পৃষ্ঠে থাকে এবং $Q = C.V$ এক্ষেত্রে ব্যাসার্ধ সমান বলে ধারকত্ব (C) সমান এবং বিভবও (V) সমান। অতএব Q সমান হবে।]
- ‘কাচের পরাবৈদ্যুতিক ধ্রুবক = 8.5’ বলতে কী বুঝায়?
- একটি সমান্তরাল পাত ধারকের দুই প্লেটের অন্তর্বর্তী স্থানে একটি খুব পাতলা (বেধ গ্রাহ্যের মধ্যে নয়) অ্যালুমিনিয়াম পাত ঢুকানো হল। এটা ধারকের ধারকত্বের ওপর কী প্রভাব বিস্তার করবে, যখন (i) পাতটি অন্তরিত অবস্থায় আছে এবং (ii) পাতটি ওপরের প্লেটের সাথে যুক্ত আছে?
- একটি নির্দিষ্ট বিভব-প্রভেদের বেলায় কোনো ধারক কি বেশি বা কম আধান সংগ্রহ করবে, যখন (i) ধারকে পরাবিদ্যুৎ আছে এবং (ii) ধারকে কোনো পরাবিদ্যুৎ নাই?
- দুটি একই রকম ধাতব প্লেটকে Q_1 এবং Q_2 ($Q_1 > Q_2$) ধনাত্মক আধান দেওয়ার পর তাদের খুব কাছাকাছি এনে C ধারকত্বের একটি সমান্তরাল প্লেট ধারক গঠন করা হল। প্লেট দুটির ভিতর বিভবপ্রভেদ (i) $(Q_1 + Q_2)/2C$ (ii) $(Q_1 + Q_2)/C$ (iii) $(Q_1 - Q_2)/2C$ কোনটি ঠিক?
- একটি ধারক-কে চার্জ করতে কিছু শক্তির অপব্যয় হয়। এই অপচিত শক্তি ধারকের সঞ্চিত শক্তির সমান। মন্তব্য করো।
[সংকেত : ধারক-কে চার্জ করতে যে মোট শক্তির প্রয়োজন হয়, প্রমাণ করা যায় যে অর্ধেক শক্তি ধারকে সঞ্চিত থাকে এবং বাকি অর্ধেক তাপশক্তিতে পরিণত হয়ে অপচিত হয়।]
- ভ্যান-ডি-গ্রাফ যন্ত্রে গোলক ও বেল্টকে যথাসম্ভব মসৃণ রাখা হয় কেন?
- ভ্যান-ডি-গ্রাফ যন্ত্রকে যে ধাতবপ্রকোষ্ঠে রাখা হয় তাকে ভূ-সংলগ্ন রাখা হয় কেন?

→ অতি সংক্ষিপ্ত উত্তরের প্রশ্ন

- ধারকত্বের ব্যবহারিক একক কী?
- তড়িৎআধান একটি গোলায় পরিবাহীকে ধারক বলে গণ্য করা যায়। ঐ ধারকের দ্বিতীয় প্লেটটি কী?
- একটি বিন্দু আধানের বেলায় সমবিভব তলের আকৃতি কিরূপ?
- ϵ_0 -এর একক ফ্যারাড/মিটার (F/m)-এটা কি ঠিক?

5. কোনো এক বিন্দুতে তড়িৎক্ষেত্র প্রাবল্য শূন্য না হলে সেখান বিভব কি শূন্য হতে পারে ?
6. একটি সমান্তরাল প্লেট ধারকের প্রতিটি প্লেট গোলাকার এবং ব্যাসার্ধ r । এই ধারকের ধারকত্ব একটি বিচ্ছিন্ন r ব্যাসার্ধের গোলকের ধারকত্বের সমান হলে, প্লেট দুটির দূরত্ব কত হবে ?
7. 1 farad ধারকত্বের সমান্তরাল প্লেট ধারক-কে কি বাড়িতে লাগানো যায় ?
[সংকেত : না ; ধারকের প্লেট দুটির ব্যবধান 1 mm হলেও প্রতি প্লেটের ক্ষেত্রফল হবে 100 km^2 .]
8. একটি সমান্তরাল প্লেট ধারকের প্লেট দুটির ঠিক মাঝখানে একটি ধাতব পাত রাখলে ধারকের ধারকত্বের কি পরিবর্তন হবে ?
[সংকেত : প্রায় কোনো পরিবর্তনই হবে না।]
9. সমান্তরাল পাত ধারকের একটি প্লেট A-র বিভব শূন্য এবং অন্য প্লেট B-এর বিভব $+V$; A থেকে B পর্যন্ত বিভিন্ন বিন্দুর বিভব কিভাবে পরিবর্তন করবে ?
10. মনে করো, কোনো ধারকের পজিটিভ প্লেটে $+Q_1$ তড়িৎ আধান এবং নেগেটিভ প্লেটে $-Q_2$ তড়িৎ আধান দেওয়া হল। তাহলে ধারকের আধান কত ?
11. যেহেতু $C = \left(\frac{1}{V}\right) \cdot Q$ তাই একথা বলা যায় কি যে C আধান $-Q$ -এর সমানুপাতিক ?
12. সম ব্যাসার্ধের একটি ফাঁপা গোলক এবং একটি নিরেট ধাতব গোলকে সমান তড়িৎ আধান দেওয়া হল। কোনটির বিভব উচ্চতর হবে ?

➔ **বহুবিকল্পীয় পছন্দের প্রশ্ন [Multiple choice type (M.C.Q.)]**

(A) নির্ভুল উত্তরটি ✓ চিহ্নিত করো :

- (i) তিনটি ধারকের ধারকত্বের অনুপাত 1 : 2 : 3। তাদের প্রথমে সমান্তরাল সমবায়ে, পরে শ্রেণি সমবায়ে যুক্ত করা

হল। প্রথম ক্ষেত্রে তুল্য ধারকত্ব দ্বিতীয় ক্ষেত্র অপেক্ষা $2\frac{8}{11} \mu\text{F}$ বেশি। ধারক তিনটির ধারকত্ব

- (A) $1\mu\text{F}$, $2\mu\text{F}$, $3\mu\text{F}$ (B) $0.5\mu\text{F}$, $1.0\mu\text{F}$, $1.5\mu\text{F}$
(C) $0.2\mu\text{F}$, $0.4\mu\text{F}$, $0.6\mu\text{F}$ (D) $0.3\mu\text{F}$, $0.6\mu\text{F}$, $0.9\mu\text{F}$

- (ii) সমব্যাসার্ধ এবং সম আধান যুক্ত 64টি ক্ষুদ্র ক্ষুদ্র জনলবিন্দু একসঙ্গে মিশে একটি বড় বিন্দু গঠন করল। বড়ো বিন্দুটির ধারকত্ব এবং ছোট বিন্দুর ধারকত্বের অনুপাত হবে

- (A) 4 : 1 (B) 1 : 4 (C) 2 : 1 (D) 1 : 2

- (iii) C ধারকত্বের একটি ধারক-কে V বিভবে আহিত করা হল। ধারক-কে বেস্টন করে একটি বন্ধ বেস্টনীর ভিতর দিয়ে তড়িৎ ক্ষেত্রের ফ্লাক্স হবে

- (A) $\frac{CV}{\epsilon_0}$ (B) $\frac{2CV}{\epsilon_0}$

- (C) $\frac{CV}{2\epsilon_0}$ (D) শূন্য।

- (iv) 3.22 নং চিত্রে প্রদর্শিত ধারক সমবায়ের তুল্য ধারকত্ব

- (A) C (B) 2C

- (C) $\frac{C}{2}$ (D) কোনটাই নয়।

- (v) একটি বিচ্ছিন্ন ধারকের দুই প্লেটের মাঝখানে একটি পরাবৈদ্যুতিক স্ল্যাব ঢোকানো হলে, প্লেট দুটির ভিতর পারস্পরিক বল

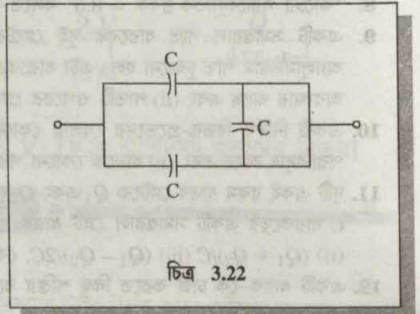
- (A) বৃদ্ধি পাবে (B) হ্রাস পাবে
(C) কোনো পরিবর্তন হবে না (D) শূন্য হবে।

- (vi) বায়ুপূর্ণ একটি সমান্তরাল প্লেট ধারকের ধারকত্ব 10^{-12} F ; প্লেট দুটির দূরত্ব দ্বিগুণ করা হল এবং তাদের ভিতর মোম ভর্তি করা হল। এতে ধারকত্ব বৃদ্ধি পেয়ে হল $2 \times 10^{-12} \text{ F}$; মোমের আপেক্ষিক আবেশের ধারকত্ব কত ?

- (A) 2.0 (B) 3.0 (C) 4.0 (D) 8.0

- (vii) যখন একটি ধারককে ব্যাটারির সঙ্গে যুক্ত করা হয় তখন

- (A) বর্তনী দিয়ে কোনো প্রবাহ যায় না,



(B) কিছুক্ষণের জন্য প্রবাহ যায় ; পরে হ্রাস পেয়ে শূন্য হয়,

(C) প্রবাহ ক্রমশ বৃদ্ধি পেয়ে সর্বাধিক হবে যখন ধারক ব্যাটারির ভোল্টেজ পাবে,

(D) বর্তনীতে পরিবর্তি প্রবাহ যাবে।

[viii] একটি চার্জড সমান্তরাল পাত ধারকের প্লেট দুটির মাঝখানে k আপেক্ষিক আবেশিক ধারকত্বের ব্লক রাখলে, প্লেট দুটির ভিতর কোনো বিন্দুতে তড়িৎক্ষেত্র

(A) বৃদ্ধি পায়

(B) হ্রাস পায়

(C) $k.E$ -এর সমান হয়

(D) E/k -এর সমান হয়।

[ix] একটি সমান্তরাল প্লেট ধারকের প্লেটের ক্ষেত্রফল α এবং তড়িৎআধান Q । প্লেট দুটি পরস্পরকে যে বলে আকর্ষণ করে তা

(A) Q -এর সমানুপাতিক

(B) α -এর সমানুপাতিক

(C) α -এর ব্যস্তানুপাতিক

(D) α^2 -এর ব্যস্তানুপাতিক।

[x] একটি সমান্তরাল প্লেট ধারকের প্লেট দুটির ক্ষেত্রফল সমান নয়। বড়ো প্লেটটি ব্যাটারির পজিটিভ প্রান্তের সাথে এবং ছোটটি নেগেটিভ প্রান্তের সাথে যুক্ত। বড়ো এবং ছোটো প্লেটে যথাক্রমে Q_+ এবং Q_- তড়িৎআধান থাকলে,

(A) $Q_+ > Q_-$

(B) $Q_+ = Q_-$

(C) $Q_+ < Q_-$

(D) আরও কিছু তথ্য প্রয়োজন।

[xi] C ধারকত্বের একটি ধারকে আধান Q , প্লেট দুটির বিভবপ্রভেদ V এবং প্রত্যেক প্লেটের ক্ষেত্রফল A । প্লেট দুটির ভিতর আকর্ষণ বল

(A) $\frac{Q^2}{4\pi\epsilon_0 d^2}$

(B) $\frac{Q^2}{\epsilon_0 A}$

(C) $\frac{Q^2}{2\epsilon_0 A}$

(D) $\frac{CV^2}{2d}$

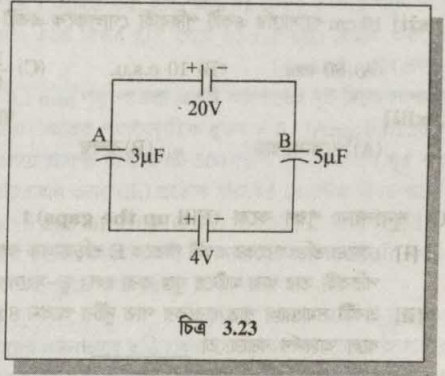
[xii] $3\mu F$ ধারকত্বের একটি ধারক A এবং $5\mu F$ ধারকত্বের আর একটি ধারক B দুটি ব্যাটারির সাথে যুক্ত আছে (চিত্র 3.23)। A ধারকের প্লেট দুটির ভিতর বিভব-পার্থক্য

(A) 16V (B) 4V (C) 6V (D) 10V

[সংকেত : A এবং B ধারকে আধান সমান। তাই

$$3 \times V_A = 5 \times V_B \text{ অথবা } \frac{V_A}{V_B} = \frac{5}{3}$$

$$\therefore \frac{V_A + V_B}{8} = \frac{V_A}{5} \text{ অথবা } V_A = 10V$$



চিত্র 3.23

[xiii] $4\mu F$ ধারকত্বের ধারককে 100V ব্যাটারি দ্বারা আহিত করার পর ধারককে সম্পূর্ণরূপে ডিসচার্জ করা হল।

এতে যে শক্তি নির্গত হবে তা

(A) 0.01J

(B) 0.02J

(C) 0.03J

(D) 0.04J.

[xiv] একটি সমান্তরাল প্লেট ধারককে আহিত করার পর চার্জিং ব্যাটারি খুলে ফেলা হল। অন্তরক হাতলের দ্বারা প্লেট দুটিকে দূরে সরিয়ে নিলে,

(A) প্লেটের আধান বৃদ্ধি পায়,

(B) প্লেট দুটির বিভব পার্থক্য বৃদ্ধি পায়,

(C) ধারকত্ব বৃদ্ধি পায়,

(D) ধারকে সম্ভিত শক্তি বৃদ্ধি পায়।

[xv] একটি সমান্তরাল প্লেট ধারক-কে একটি ব্যাটারির সাথে যুক্ত করা হল। ধারকের সংগে যুক্ত আধান, ভোল্টেজ, তড়িৎ ক্ষেত্র এবং শক্তি যথাক্রমে Q_0, V_0, E_0 এবং U_0 । ব্যাটারি যুক্ত থাকা অবস্থায় ধারকের প্লেট দুটির ভিতর কার জায়গা সম্পূর্ণ দখল করে একটি পরা বৈদ্যুতিক দ্রব্য ঢোকানো হল। উপরোক্ত রাশিগুলির বর্তমান মান Q, V, E এবং U । এ অবস্থায়

(A) $Q > Q_0$

(B) $V > V_0$

(C) $E > E_0$

(D) $U > U_0$.

[xvi] C_1 এবং C_2 ধারকত্বের দুটি ধারক সমান্তরাল সমবায়ে যুক্ত করে Q তড়িৎআধান দেওয়া হল। C_1 ধারকে আধান এবং C_2 ধারকে আধান দুটির অনুপাত

- (A) $\frac{C_1}{C_2}$ (B) $\frac{C_2}{C_1}$ (C) $\frac{C_1 C_2}{1}$ (D) $\frac{1}{C_1 C_2}$

[xvii] C এবং 2C ধারকত্বের দুটি ধারককে সমান্তরাল সমবায় যুক্ত করে V বিভবপ্রভেদে অহিত করা হল। তারপর ব্যাটরি খুলে ফেলে 4 আপেক্ষিক আবেশিক ধারকত্বের একটি ব্লককে C ধারকের প্লেট দুটির ভিতর সম্পূর্ণ ঢুকিয়ে দেওয়া হল। ধারক দুটির বর্তমান বিভবপ্রভেদ

- (A) 0.5 V (B) 1V (C) 2V (D) 4V

[সংকেতঃ প্রাথমিক তুল্য ধারকত্ব $C_1 = C + 2C = 3C$ এবং আধান $Q_1 = 3CV$, নতুন তুল্য ধারকত্ব $4C + 2C = 6C$; আধান অপরিবর্তি থাকায় বর্তমান বিভব-প্রভেদ $V = \frac{Q_1}{6C} = \frac{3CV}{6C} = 0.5V$]

[xviii] একটি ধাতব গোলকের ধারকত্ব 1F হবে যদি গোলকের ব্যাসার্ধ

- হয়
(A) 3×10^9 m (B) 6×10^9 m (C) 9×10^9 m (D) 12×10^9 m.

[xix] t বেধের একটি স্লাবকে একটি সমান্তরাল পাত ধারকের পাত দুটির ভিতর ঢোকানো হল। পাত দুটির ব্যবধান = d।

যখন $t = \frac{d}{2}$ তখন স্লাব ঢোকানোর আগে ও পরে ধারকের ধারকত্বের অনুপাত হবে

- (A) $1:\sqrt{2}$ (B) 1:2 (C) 1:1 (D) $\sqrt{2}:1$.

[xx] প্রত্যেকটি 6μF ধারকত্বের তিনটি ধারক আছে। এদের দিয়ে সর্ববৃহৎ এবং সর্বনিম্ন ধারকত্ব পাওয়া যাবে,

- (A) 6μF, 18μF (B) 3μF, 12μF (C) 2μF, 12μF (D) 18μF, 2μF.

[xxi] 2.0 μF এবং 8.0 μF ধারকত্বের দুটি শ্রেণি সমবায়ে আবদ্ধ ধারক সমবায়ে 300 V বিভবপ্রভেদ দেওয়া হল। 2.0 μF ধারকে আধান হবে,

- (A) 2.4×10^{-4} C (B) 4.8×10^{-4} C (C) 7.2×10^{-4} C (D) 9.6×10^{-4} C.

[xxii] 10 cm ব্যাসার্ধের একটি পরিবাহী গোলককে একটি মাধ্যমে রাখা হল যার পরাবৈদ্যুতিক ধ্রুবক 8; এর ধারকত্ব,

- (A) 80 esu (B) 10 e.s.u. (C) $\frac{1}{9} \times 10^{-10}$ F (D) 80 F. [Jt. Entrance 2006]

[xxiii] ধারকত্বের একক হল

- (A) পিকোফ্যারাড (B) কুলম্ব (C) মাইক্রোভোল্ট (D) ওরস্টেড।

[Jt. Entrance 2006]

(C) শূন্যস্থান পূরণ করো (Fill up the gaps) :

[i] কোনো তড়িৎধারকের একটি পাতকে E তড়িচ্চালক বলসম্পন্ন একটি কোশের সঙ্গে যুক্ত করা হল ও অন্য পাতটিকে একটি পরিবাহী তার দ্বারা মাটিতে যুক্ত করা হল। ভূ-সংযোগ বিচ্ছিন্ন করলে পাত দুটির মধ্যে বিভব প্রভেদ _____।

[ii] একটি সমান্তরাল পাত ধারকের পাত দুটির আধান 8.85×10^{-5} C এবং ক্ষেত্রফল 10m^2 । প্লেট দুটি পরস্পরকে যে-বলে আকর্ষণ করবে তা _____।

[iii] C_1 এবং C_2 ধারকের বিভবপ্রভেদ V_1 এবং V_2 হলে, $\frac{V_1}{V_2} = \frac{C_2}{C_1}$ _____।

[iv] 2μF ধারকত্বের ধারককে 10V বিভবপ্রভেদ অহিত করা হল। একটি আধানবিহীন ধারকের সঙ্গে একে সমান্তরাল সমবায় যুক্ত করলে উভয়ের সাধারণ (common) বিভব দাঁড়ায় 40V। দ্বিতীয় ধারকের ধারকত্ব _____।

[v] উষ্ণতা বাড়লে পরা বিদ্যুতের পরা বৈদ্যুতিক ধ্রুবক _____ পায়।

[vi] একটি ধারক-কে 12V তড়িচ্চালক বলের ব্যাটারির সাথে যুক্ত করলে 60 μC আধান পায়। ধারকের ধারকত্ব _____।

[vii] সমান্তরাল প্লেট ধারকের প্লেট দুটির ব্যবধান বাড়ালে, ধারকের ধারকত্ব _____ পায়।

[viii] সমান্তরাল প্লেট ধারককে ব্যাটারির সাহায্যে চার্জ করার পর, ব্যাটারি খুলে নিলে, ধারকের আধান _____ থাকে।

[ix] একটি গোলক A-কে আর একটি বৃহত্তর ব্যাসার্ধের কুসংলগ্ন গোলক দ্বারা সম্পূর্ণ আবৃত করলে A গোলকের ধারকত্ব n গুণ বৃদ্ধি পায় যদি B গোলক এবং A গোলকের ব্যাসার্ধের অনুপাত হয় _____।

[x] ধারকের সমান্তরাল সমবায়ের ফলে তুল্য ধারকত্ব বৃদ্ধি পায় কিন্তু শ্রেণি সমবায়ের ফলে তুল্য ধারকত্ব _____ পায়।

(C) ভুল কি নির্ভুল বিচার করো (True or False type) :

- [i] একটি পরিবাহী বস্তুর পরা বৈদ্যুতিক ধ্রুবক শূন্য।
- [ii] একটি ধারকের বিভব-প্রভেদ স্থির থাকাকালীন ধারকের প্লেট দুটির মাঝে কোনো পরিবিন্দু (dielectric) ঢোকালে, প্লেটের তড়িৎআধানের কোনো পরিবর্তন হয় না।
- [iii] কোনো ধারকের ধারকত্ব তার আধানের উপর নির্ভর করে না।
- [iv] একটি পরিবাহীর বিভব 250 volt বৃদ্ধি করতে 5×10^{-7} coulomb তড়িৎআধান দিতে হয়। পরিবাহীর ধারকত্ব 0.2×10^{-8} F.
- [v] কোনো তড়িৎাহিত বস্তুর নিকটে তড়িৎবিহীন পরিবাহী আনলে ওই বস্তুর বিভবের বিশেষ কোনো পরিবর্তন হয় না।
- [vi] সমান্তরাল পাত ধারকের পাতদুটির ব্যবধান বাড়ালে ধারকের ধারকত্ব হ্রাস পায়।
- [vii] কতকগুলি ধারককে সমান্তরাল সমবায়ে যুক্ত করলে পৃথক ধারকগুলির ধারকত্বের সমষ্টি তুল্য ধারকত্বের সমান হয়।
- [viii] সমান ব্যাসার্ধের দুটির তামার গোলকের একটি নিরেট এবং অপরটি ফাণা। উভয়কে সমান বিভবে তড়িৎাহিত করলে, নিরেট গোলকে বেশি আধান থাকবে।

➔ গাণিতিক প্রশ্ন

1. 4 unit ধারকত্বের একটি পরিবাহীকে 100 unit ধনাত্মক আধানে আহিত করা হল এবং 2 unit ধারকত্বের অপর একটি পরিবাহীকে 20 unit ঋণাত্মক আধানে আহিত করে প্রথম পরিবাহীর সহিত যুক্ত করা হল। এখন, তাদের বিভব কীরূপ পরিবর্তন করবে এবং তড়িৎআধান কত থাকবে নির্ণয় করো।

[Ans. প্রথম পরিবাহী : + 25 হতে 13.3 unit ; 53.5 unit.

দ্বিতীয় পরিবাহী : - 10 হতে + 13.3 unit ; + 26.7 unit.]

2. 20 এবং 30 unit ধারকত্বের দুটি পরিবাহীকে সরু তার দিয়ে যুক্ত করে তাদের 100 unit তড়িৎআধান দেওয়া হল। তাদের বিভব এবং তড়িৎআধান নির্ণয় করো। [Ans. বিভব = 2 unit ; $q_1 = 40$ unit ; $q_2 = 60$ unit;]

3. একটি 100 μ F ধারকত্বের ধারককে 50 volt বিভব প্রভেদে আহিত করা হল। অতঃপর চার্জিং ব্যাটারি খুলে নিয়ে ঐ ধারককে আর একটি ধারকের সাথে যুক্ত করা হল। এতে বিভব হ্রাস পেয়ে 35 volt হল। দ্বিতীয় ধারকের ধারকত্ব কত? [Ans. 43 μ F (প্রায়)]

4. 20 cm \times 25 cm সাইজের আয়তাকার দুটি টিনপাত 0.1 mm পুরু পাতলা একটি অস্বপাতের দুই দিকে লাগানো হল। ঐ ধারকের ধারকত্ব মাইক্রোফ্যারাডে নির্ণয় করো। অশ্রের পরাবৈদ্যুতিক ধ্রুবক = 5. [Ans. 0.022 μ F]

5. 4, 6 এবং 12 μ F ধারকত্বের তিনটি ধারককে শ্রেণি সমবায়ে আবদ্ধ করে একটি 500 ভোল্ট ব্যাটারি সাথে যুক্ত করা হল। (i) তাদের তুল্য ধারকত্ব (ii) প্রত্যেক ধারকের তড়িৎআধান এবং (iii) প্রত্যেক ধারকের ভোল্টেজ নির্ণয় করো। [Ans. (i) 2 μ F (ii) 0.001 C (iii) 250 V, 167 V, এবং 83 V]

6. 8 cm ব্যাসার্ধের দুটি গোলাকার প্লেট পারস্পরিক দূরত্ব 1 mm রেখে একটি সমান্তরাল পাত ধারক তৈরি করে। ঐ ধারকে 100 volt বিভবপ্রভেদে প্রয়োগ করলে ধারকের প্লেটে কত আধান জমা থাকবে? [Ans. 1.8×10^{-8} C (প্রায়)]

7. দুটি অন্তরিত গোলকের ব্যাসার্ধ R এবং 2R। এদের এমনভাবে তড়িৎআধান দেওয়া হল যে তাদের আধানের তলমাত্রিক ঘনত্ব (σ) সমান। গোলক দুটিকে সরু তার দ্বারা যুক্ত করলে বড়ো গোলকটির আধানের তলমাত্রিক ঘনত্ব কত হবে? [Ans. $\frac{5}{6} \sigma$]

8. কোনো পরিবাহী গোলকের ধারকত্ব 1 μ F এবং আধান - 10 coulomb হলে, (বায়ুতে) এর বিভব কত? [Ans. - 10⁷ V]

9. একটি সমান্তরাল পাত ধারকের ধারকত্ব 10 μ F এবং পাতের ক্ষেত্রফল 100 cm²; ধারককে 50 volt বিভব-প্রভেদে দিলে, পাতের আধানের তলমাত্রিক ঘনত্ব কী হবে? [Ans. 0.05×10^{-9} C cm⁻²]

10. A এবং B দুটি ধারকের ধারকত্ব যথাক্রমে 4 esu ; এবং 9 esu : এদের তড়িৎআধান দিয়ে বিভব যথাক্রমে 1 এবং $\frac{2}{3}$ esu করা হল। অতঃপর তাদের সমান্তরাল সমবায়ে রাখলে, প্রত্যেকের তড়িৎআধান কত হবে? [Ans. $q_1 = 3 \frac{1}{13}$; $q_2 = 6 \frac{12}{13}$ esu]

11. 2 cm এবং 4 cm ব্যাসার্ধের দুটি গোলককে 24 unit তড়িৎআধানে প্রত্যেকটিকে আহিত করা হল। তাদের একটি তার দিয়ে যুক্ত করলে, প্রত্যেকটিতে কত আধান থাকবে? [Ans. 16 unit ; 32 unit]

12. সর্ববিষয়ে সমান দুটি ধারককে সমান্তরাল সমাবেয়ে আবদ্ধ করলে মোট যে ধারকত্ব হয় তা শ্রেণি সমাবেয়ে আবদ্ধ থাকাকালীন মোট ধারকত্বের চারগুণ — এটা প্রমাণ করো।
13. 2, 3 এবং 4 একক ধারকত্বের তিনটি ধারককে যথাক্রমে (i) শ্রেণি সমাবেয়ে এবং (ii) সমান্তরাল সমাবেয়ে যুক্ত করা হল। দুই ক্ষেত্রে তুল্য ধারকত্বের তুলনা করো। [Ans. 4/39]
14. প্রত্যেকটি 10 μF ধারকত্বের দুটি ধারক সমান্তরাল সমাবেয়ে যুক্ত করা হল এবং সমবায়টিকে 30 μF ধারকত্বের ধারকের সঙ্গে শ্রেণি সমবায়ের যুক্ত করা হল। সমগ্র সমবায়টির তুল্য ধারকত্ব কত? [Ans. 12 μF]
15. একটি সমান্তরাল পাত ধারকের প্রতিটি পাতের ক্ষেত্রফল 200 sqcm । পাত দুটির ব্যবধান দূরত্ব 2 mm এবং অন্তর্বর্তী মাধ্যম বায়ু। একটি পাত ভূ-সংলগ্ন এবং অপরটির বিভব 300 ভোল্ট। প্রতিটি পাতে আধান কত নির্ণয় করো। [Ans. 79.6 esu]

$$[\text{সংকেত } Q = C.V = \frac{200}{4\pi \times 0.2} \times \frac{300}{300} = 79.6 \text{ esu}]$$

16. 20 μF এবং 60 μF ধারকত্ববিশিষ্ট দুটি ধারক শ্রেণি সমাবেয়ে যুক্ত। সমবায়ের দুই প্রান্তের বিভব পার্থক্য 40 volt করলে ধারকের প্রান্তদ্বয়ের মধ্যে বিভব-প্রভেদ নির্ণয় করো। [Ans. 30 volt.; 10 volt]
17. দুটি গোলাীয় ধারকের প্রত্যেকটিকে q তড়িতাধান আছে। একটি ধারকের আয়তন অপরটির দ্বিগুণ। একটি সরু তার দ্বারা ধারক দুটিকে যুক্ত করা হল। প্রত্যেক গোলকের আধান নির্ণয় করো। $\sqrt[3]{2} = 1.26$ [Ans. 1.15 q ; 0.885 q]
18. 2 mm ব্যাস বিশিষ্ট ও 5 মাইক্রোস্ট্যাটকুলম্ব তড়িৎযুক্ত আটটি গোলাকার তরল বিন্দু একত্রীভূত করা হল। এই যুক্ত গোলকের উপরিতলের বিভব ভোল্টে প্রকাশ করো। [Ans. 0.06V]
19. একটি গোলাীয় ধারকের বাইরের গোলকের ব্যাস 30 cm এবং ভিতরের গোলকের 20 cm; এদের ভিতরকার জায়গা 2 আপেক্ষিক আবেশিক ধারকত্বের একটি তরল দ্বারা পূর্ণ। ঐ ধারকের ধারকত্ব মাইক্রো-ফ্যারাডে নির্ণয় করো। [Ans. $1.33 \times 10^{-4} \mu\text{F}$]
20. একটি সমান্তরাল পাত ধারক 21 টি গোলাকার ধাতব পাত দিয়ে তৈরি, যার প্রত্যেকটির ব্যাস 10 cm; এই পাতগুলিকে 0.2 mm পুরু অঙ্গ দিয়ে পৃথক করা আছে। একটি অন্তর একটি পাত সংযুক্ত করা থাকে তবে ধারকটির ধারকত্ব মাইক্রোফ্যারাড এককে নির্ণয় করো। [Ans. 0.042 μF]

$$[\text{সংকেত : } C = \frac{(n-1)k\alpha}{4\pi d} \times \frac{1}{9 \times 10^5} \mu\text{F}; n = 21; k = 6; \alpha = \pi(5)^2 \text{ cm}^2; d = 0.2 \text{ mm} = 0.02 \text{ cm}]$$

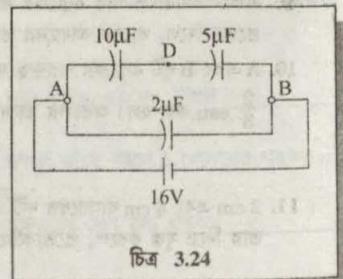
21. প্রতিটি 500 cm^2 ক্ষেত্রফল বিশিষ্ট সমান্তরাল দুটি ধাতব পাত পরস্পর হতে 0.075 cm দূরত্বে আছে। অন্তর্বর্তী স্থান 6.28 আপেক্ষিক আবেশিক ধারকত্বের অঙ্গ দ্বারা পূর্ণ করা হল। তড়িতাহিত প্লেটের আধানের তলমাত্রিক ঘনত্ব 0.1 C/ cm^2 হলে, ধারকের স্থিতিশক্তি নির্ণয় করো। [Ans. 3.37 joule]
22. একটি সমান্তরাল পাত ধারকের ক্ষেত্রফল 1 m^2 এবং পরা-বৈদ্যুতিক ধ্রুবক 7; আহিত করে তার বিভব 300 volt-এ তোলা হলে কত শক্তি সঞ্চিত থাকে নির্ণয় করো। দেওয়া আছে সমান্তরাল পাত দুটির দূরত্ব 0.01 cm. [Ans. 2.78 joule]
23. 5 এবং 10 একক ধারকত্বের দুটি ধারককে তড়িতাধান দিয়ে বিভব যথাক্রমে 16 এবং 10 একক করা হল। এদের সমান্তরাল সমাবেয়ে যুক্ত করলে সাধারণ বিভব কী হবে? শ্রেণি সমবায়ের ক্ষেত্রে কী হবে? [Ans. 12 একক; 54 একক]

24. 3.24 নং চিত্রে প্রদর্শিত ধারক-বর্তনীয় A এবং B বিন্দুর ভিতর ধারকত্ব নির্ণয় করো। তিনটি ধারকের আধান কত? B বিন্দুর বিভব শূন্য ধরে D বিন্দুর বিভব নির্ণয় করো।

$$[\text{Ans. (i) } \frac{16}{3} \mu\text{F} \text{ (ii) } 36 \mu\text{C}; 24 \mu\text{C}; 4.8 \text{ V}]$$

[সংকেত : (i) 10 μF এবং 5 μF শ্রেণি সমাবেয়ে থাকায় তুল্য ধারকত্ব $\frac{1}{C} = \frac{1}{10} + \frac{1}{5}$ অথবা, $C = \frac{10}{3} \mu\text{F}$ এই সমবায় আবার 2 μF ধারকের সমান্তরাল সমাবেয়ে থাকায় A এবং B-এর ভিতর

$$\text{তুল্য ধারকত্ব} = \frac{10}{3} + 2 = \frac{16}{3} \mu\text{F}$$



চিত্র 3.24

(ii) ব্যাটারি কর্তৃক প্রদত্ত আধান $Q = C.V = \frac{10}{3} \times 18 = 60\mu C$ । $2\mu F$ ধারকের প্রাপ্ত বিভব-পার্থক্য = $18V$

(ব্যাটারির তড়িচ্চালক বল)। তাই, এই ধারকের আধান = $2\mu F \times 18V = 36\mu C$
অতএব, $10\mu F$ এবং $5\mu F$ ধারক দুটিকে প্রভেদের আধান = $60 - 36 = 24\mu C$

(iii) $5\mu F$ ধারকের বিভব-প্রভেদ = $\frac{\text{আধান}}{\text{ধারকত্ব}} = \frac{24}{5} = 4.8V$

B বিন্দুর বিভবশূন্য হওয়ায় D বিন্দুর বিভব = $4.8V$ ।

25. একটি গোলকীয় জলের ফোঁটা 10×10^{-12} কুলম্ব আধানে আহিত অবস্থায় এর পৃষ্ঠের বিভব 100 ভোল্ট হয়। (i) ফোঁটাটির ব্যাসার্ধ কত? (ii) যদি সমআধানে আহিত এরকম আটটি একই ব্যাসার্ধের ফোঁটা সংযুক্ত হয়ে একটি ফোঁটায় পরিণত হয়, নতুন ফোঁটাটির পৃষ্ঠে বিভব কত হবে? [Ans. (i) 9×10^{-19} m (ii) 400 volt]

[সংকেত : $\frac{Q}{V} = C = 4\pi\epsilon_0 r$]

কঠিনতর গাণিতিক প্রশ্ন

- একটি সমান্তরাল পাত ধারকের প্লেট দুটি পরস্পর হতে 2 cm দূরে। ঐ প্লেট দুটির মধ্যে 1 cm বেধযুক্ত একটি পরাবিদ্যুৎ রাখা হল যার আপেক্ষিক আবেশিক ধারকত্ব = 5 ; এখন প্লেট দুটির দূরত্ব এরূপভাবে পরিবর্তন করা হল যে ধারকত্ব অপরিবর্তিত থাকল। প্লেট দুটির বর্তমান দূরত্ব কত? [Ans. 2.8 cm]
- একটি ব্যাটারির সাথে একটি ধারককে যুক্ত করলে ধারকে $50\mu C$ আধান সঞ্চিত হয়। ধারকের প্লেট দুটির ভিতর একটি পরাবৈদ্যুতিক স্ল্যাব ঢুকালে ব্যাটারি দিয়ে $100\mu C$ আধান অতিক্রম করে। স্ল্যাবের পরাবৈদ্যুতিক ধ্রুবক কত? [Ans. 8]
- একটি সমান্তরাল পাত ধারকের দুই প্লেটের মধ্যে পরাবিদ্যুতের একটি স্ল্যাব ঢুকানো হল। প্রমাণ করো যে ধারকের

প্রতি একক ক্ষেত্রফলে ধারকত্ব দ্বিগুণ হবে যদি পরাবৈদ্যুতিক ধ্রুবক $K = \frac{2x}{2x-d}$ হয়; d = পরাবিদ্যুৎ প্রবেশ করাবার পূর্বে বায়ুর বেধ; x = পরাবিদ্যুতের বেধ।

- $2\mu F$, $3\mu F$ এবং $6\mu F$ ধারকত্বের তিনটি ধারককে শ্রেণি সমবায়ে আবদ্ধ করে $12V$ ব্যাটারির সাথে যুক্ত করা হল। পরে সংযোগী তারগুলি খুলে ফেলে তিনটি পজিটিভ প্লেটকে একসঙ্গে এবং তিনটি নেগেটিভ প্লেটকে একসঙ্গে যুক্ত করা হল (চিত্র 3.25)। এখন তিনটি ধারকের আধান নির্ণয় করো।

[সংকেত : প্রথমে শ্রেণি সমবায়ে আবদ্ধ অবস্থায় তুল্য

$$\text{ধারকত্ব } \frac{1}{C} = \frac{1}{2} + \frac{1}{3} + \frac{1}{6} = 1\mu F$$

ব্যাটারির কর্তৃক প্রদত্ত আধান = $1\mu F \times 12V = 12\mu C$ ।

ধারকগুলি শ্রেণি সমবায়ে থাকার প্রত্যেক ধারকের পজিটিভ

প্লেটে $+12\mu C$ এবং নেগেটিভ প্লেটে $-12\mu C$ আধান থাকবে। আধানযুক্ত ধারকগুলিকে এবার 3.25 নং চিত্রে প্রদর্শিত সমবায়ে আবদ্ধ করা হল।

মোট $+36\mu C$ আধান এবার তিনটি পজিটিভ প্লেটে, ধরো, Q_1 , Q_2 এবং Q_3 এবং তিনটি নেগেটিভ প্লেটে $-36\mu C$ যথাক্রমে $-Q_1$, $-Q_2$ এবং $-Q_3$ আধানে বন্টিত হল। এখন, তিনটি পজিটিভ প্লেটের একটি সাধারণ (Common) বিভব এবং তিনটি নেগেটিভ প্লেটের একটি সাধারণ বিভব হবে। ধরো, প্রত্যেক দুই প্লেটের বিভব-পার্থক্য = V ; তাহলে

$$Q_1 = (3\mu F).V$$

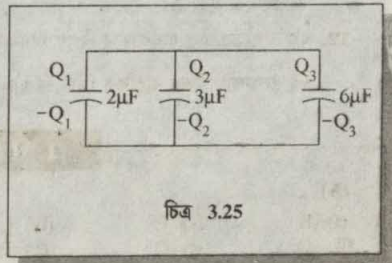
$$Q_2 = (3\mu F).V$$

$$\text{এবং } Q_3 = (6\mu F).V$$

$$\text{তাহাড়া, } Q_1 + Q_2 + Q_3 = 36\mu C$$

$$\text{সমীকরণগুলি সমাধান করলে পাই } Q_1 = \frac{72}{11}\mu C; Q_2 = \frac{108}{11}\mu C; Q_3 = \frac{216}{11}\mu C$$

- প্রত্যেকটি 15 cm^2 ক্ষেত্রফলবিশিষ্ট এরূপ 11 টি ধাতব প্লেট দ্বারা একটি সমান্তরাল প্লেট ধারক তৈরি করা হয়েছে। প্রতি দুটি প্লেটের ফাঁকের ভিতর 0.2 mm বেধ ও 6 আপেক্ষিক আবেশিক ধারকত্ব যুক্ত অস্ত্রপাত রাখা আছে। ধাতব



প্লেটগুলিকে একটি অন্তর একটি করে পরস্পরে সংযুক্ত। মাইক্রো-ফ্যারডে এই ধারকের ধারকত্ব নির্ণয় করে।

[Ans. 0.00398 μ F]

6. 4 μ F ধারক-কে 1000 ভোল্টে আহিত করা হল। ধারকে সঞ্চিত শক্তির পরিমাণ নির্ণয় করো। এ ধারকের সাথে 2 μ F ধারকত্বের আর একটি অনাহিত ধারক সমান্তরাল সমবায়ে যুক্ত করলে এ সমবায়ের বিভব কত হবে?

[Ans. 2 joule ; 666.6 volt]

7. দুটি ধারককে সমান্তরাল সমবায়ে 20 esu বিভব পার্থক্য রাখলে তাদের তড়িৎশক্তি দাঁড়ায় 8000 erg ; কিন্তু শ্রেণি সমবায়ে একই বিভব পার্থক্য রাখলে, তড়িৎশক্তি হয় 1500 erg ; ধারক দুটির ধারকত্ব কত?

[Ans. 30 এবং 10 esu]

[সংকেত : প্রথমবার, $8000 = \frac{1}{2} (c_1 + c_2) \times (20)^2$ এবং দ্বিতীয়বার $1500 = \frac{1}{2} \times \frac{c_1 c_2}{c_1 + c_2} \times (20)^2$]

8. 1 mm এবং 2 mm ব্যাসার্ধের দুটি বারিবিদ্যুকে যথাক্রমে 1500 এবং 75000 volt বিভবে আহিত করা হল।

বারিবিদ্যুদ্বয় যদি মিশে একটি বিন্দুতে পরিণত হয়, তাহলে শক্তির পরিবর্তন আর্গে প্রকাশ করো। 1 volt = $\frac{1}{300}$ esu.

[Ans. 52.5 erg (প্রায়)]

9. একই রকমের 1000 তড়িতাহিত বৃষ্টির ফোঁটা মিলে একটি বড় ফোঁটা পরিণত হয় যাতে মোট তড়িতের পরিমাণ অপরিবর্তিত থাকে। ফোঁটাগুলির মোট তড়িৎশক্তির কতটা পরিবর্তন হল বার করো। ধরে নাও যে ফোঁটাগুলি গোলায় এবং ছোটো ফোঁটাগুলি একে অপরের থেকে অনেকটা দূরে অবস্থিত।

[Ans. প্রাথমিক শক্তির 99 গুণ]

10. দুটি অন্তরিত খাতব গোলকের ব্যাসার্ধের অনুপাত 4 : 1 ; তাদের একই পরিমাণ আধানে আহিত করে একটি সরু তারের সাহায্যে যুক্ত করা হল। তারে কোন আধান নেই ধরে নিলে, সংযোগ বিচ্ছিন্ন করার পর খাতব গোলক দুটির আধানের তলমাত্রিক ঘনত্বের অনুপাত নির্ধারণ করো।

[Ans. 1 : 4]

11. একটি সমান্তরাল পাত ধারকের A, B এবং C খাতব পাতগুলির প্রতিটির ক্ষেত্রফল 220 cm² ; A ও B-এর মধ্যে 0.5 mm পুরু কাগজ এবং B ও C-এর মধ্যে 0.2 mm পুরু অম্লের পাত আছে। A এবং C-কে ধারকের পাত হিসাবে ব্যবহার করলে ধারকত্ব কত হবে? A, B পাত দুটিকে তার দিয়ে যুক্ত করে একটি পাত হিসাবে এবং C-কে অন্য পাত হিসাবে ব্যবহার করলে ধারকত্ব কত হবে? কাগজের এবং অম্লের আপেক্ষিক আবেশিক ধারকত্ব যথাক্রমে 3 এবং 5।

[Ans. 847 e.s.u. ; 5425 e.s.u.]

12. একটি তড়িতাহিত ধারক তার দ্বিগুণ ধারকত্ব সম্পন্ন অপর একটি অনাহিত ধারকের সাথে নিজ আধান বণ্টন করে।

এই অবস্থায় উভয় ধারকের মোট শক্তির পরিমাণ নির্ণয় করো।

[Ans. $\frac{Q^2}{6C}$]

□ M.C.Q. প্রশ্নের উত্তর □

(A)

(i) B	(v) C	(ix) C	(xiii) B	(xvii) A	(xxi) B
(ii) C	(vi) C	(x) B	(xiv) B	(xviii) C	(xxii) A
(iii) D	(vii) B	(xi) C	(xv) A	(xix) B	(xxiii) A
(iv) B	(viii) B	(xii) D	(xvi) A	(xx) D	

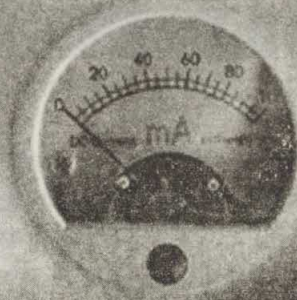
(B) [i] E, [ii] 44.25N, [iii] $\frac{C_2}{C_1}$, [iv] 8 μ F, [v] হ্রাস, [vi] 5 μ F, [vii] হ্রাস, [viii] অপরিবর্তিত, [ix] $\frac{n}{n-1}$,

[x] বৃদ্ধি-হ্রাস।

(C) [i] ভুল, [ii] ভুল, [iii] নির্ভুল, [iv] নির্ভুল, [v] ভুল, [vi] নির্ভুল, [vii] নির্ভুল, [viii] ভুল।

প্রবাহী তড়িৎ বিজ্ঞান

[CURRENT ELECTRICITY]



প্রাচীন ইতিহাস

[C. 1000 A.D.]





তড়িৎ প্রবাহের তাপীয় ফল ও তাপ-তড়িৎ

[HEATING EFFECT OF ELECTRIC CURRENT & THERMO-ELECTRICITY]

1.1. সূচনা (Introduction) :

কোনো পরিবাহীর ভিতর দিয়ে তড়িৎ প্রবাহ ঘটলে পরিবাহী উত্তপ্ত হয়ে পড়ে। একে তড়িৎ প্রবাহের তাপীয় ফল বলা হয়।

প্রত্যেক পরিবাহীতে বেশ কিছু সংখ্যক মুক্ত ইলেকট্রন থাকে। পরিবাহীর দু-প্রান্তে বিভবপ্রভেদ থাকলে, ইলেকট্রনগুলি নিম্নবিভব প্রান্ত হতে উচ্চবিভব প্রান্তের দিকে যেতে চেষ্টা করে। এতে ইলেকট্রনগুলির কিছু গতিশক্তি লাভ হয়। প্রকৃতপক্ষে পরিবাহীর ভিতর দিয়ে ইলেকট্রনের এই অণুপ্রবাহের (drift) জন্য পরিবাহীতে তড়িৎ প্রবাহের উৎপত্তি হয়। এখন, গতিশক্তিসম্পন্ন ইলেকট্রনগুলি পরিবাহীর মধ্য দিয়ে গতিশীল হবার সময় পরিবাহীর অণুর সঙ্গে সংঘর্ষ ঘটায়। ফলে, পরিবাহীর অণুগুলির গতিশক্তি বৃদ্ধি পায়। গতিতত্ত্ব (kinetic theory) অনুযায়ী অণুর গতিশক্তি বৃদ্ধির অর্থ উষ্ণতা বৃদ্ধি। এভাবে তড়িৎপ্রবাহের জন্য পরিবাহীতে তাপের উদ্ভব হয় এবং পরিবাহীর উষ্ণতা বৃদ্ধি পায়। যত উষ্ণতা বৃদ্ধি পায় পরিবাহীর পৃষ্ঠ হতে তত বর্ধিত হারে তাপের বিকিরণও হয়। এভাবে চলতে থেকে এক সময় তাপ উদ্ভবের হার এবং তাপ বিকিরণের হার সমান হয়। পরিবাহী তখন একটি স্থির তাপমাত্রা লাভ করে। এই কারণে পরিবাহী ভিতর দিয়ে অনির্দিষ্টকাল তড়িৎ প্রবাহের ফলে নিরবচ্ছিন্নভাবে তাপ উৎপাদন হলেও কিছুক্ষণ পর পরিবাহীর উষ্ণতা স্থির হয়ে যায়; উষ্ণতা অনির্দিষ্টভাবে বৃদ্ধি পায় না।

তড়িৎ প্রবাহের এই তাপীয় ফলের ব্যবহারিক প্রয়োগ দ্বারা বহু প্রয়োজনীয় কার্য সম্পাদন করা হয়। বিজলিবাতি হতে আমরা যে আলো পাই, বৈদ্যুতিক হিটার ও স্টোভ হতে যে তাপ উদ্ভূত হয় তা তড়িৎ প্রবাহের তাপীয় ফলের গার্হস্থ্য প্রয়োগ। আবার, বৈদ্যুতিক আর্ক ওয়েলডিং (arc welding), বৈদ্যুতিক ফার্নেস প্রভৃতি তাপীয় ফলের শিল্পক্ষেত্রে প্রয়োগের দৃষ্টান্ত। তড়িৎ প্রবাহের ফলে যে তাপের উদ্ভব হয় সেই সংক্রান্ত সূত্র সর্বপ্রথম আবিষ্কার করেন ডাঃ জেমস প্রেসকট জুল 1841 খ্রিস্টাব্দে। তাঁর নামানুসারে এই সূত্রকে জুল সূত্র বলা হয়।

1.2. জুল সূত্র (Joule's Law) :

R রোধযুক্ত পরিবাহীতে যদি t সময় ব্যাপী I প্রবাহমাত্রা চালু থাকে, তবে জুল সূত্রকে নিম্নলিখিতরূপে প্রকাশ করা যেতে পারে—

(i) রোধ ও সময় অপরিবর্তিত থাকলে উদ্ভূত তাপ (H) প্রবাহমাত্রার বর্গের সমানুপাতিক হয়; অর্থাৎ $H \propto I^2$ যদি R ও t ধ্রুবক হয়।

(ii) প্রবাহমাত্রা ও সময় অপরিবর্তিত থাকলে উদ্ভূত তাপ রোধের সমানুপাতিক হয়; $H \propto R$ যদি I ও t ধ্রুবক হয়।

(iii) রোধ ও প্রবাহমাত্রা অপরিবর্তিত থাকলে উদ্ভূত তাপ সময়ের সমানুপাতিক হয়; অর্থাৎ $H \propto t$ যদি I ও R ধ্রুবক হয়।

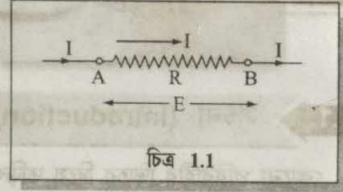
গণিতের সাহায্যে সমগ্রভাবে সূত্রকে নিম্নলিখিত উপায়ে প্রকাশ করা যেতে পারে :—

$$H \propto I^2 \cdot R \cdot t.$$

1.3. জুল সূত্রের প্রতিষ্ঠা (Establishment of Joule's Law) :

ধরো, AB পরিবাহীর প্রান্তীয় বিভবপ্রভেদ E এবং এর রোধ R (চিত্র 1.1)। মনে করো, ঐ পরিবাহী দিয়ে t সময় ধরে I প্রবাহ যাচ্ছে।

বিভবপ্রভেদের সংজ্ঞা অনুযায়ী বলা যায় যে পরিবাহীর বিভবপ্রভেদ E হলে তার এক প্রান্ত হতে অপর প্রান্তে একক মাত্রার তড়িৎপ্রবাহে E একক কার্য করতে হবে। এখন, t সময় ধরে I প্রবাহ চালু থাকার জন্য যদি পরিবাহীর এক প্রান্ত হতে অপর প্রান্তে Q পরিমাণ তড়িৎপ্রবাহ স্থানান্তরিত হয়, তবে, $Q = I \cdot t$ এবং কৃতকার্য $W = Q \times E = E \cdot I \cdot t$ ।



এ পর্যন্ত বিভবপ্রভেদ, তড়িৎ প্রবাহমাত্রা ইত্যাদি কোনো রাশিরই একক উল্লেখ করা হয়নি। এস. আই. একক অথবা ব্যবহারিক একক অনুযায়ী E ভোল্টে, I অ্যাম্পিয়ারে, t সেকেন্ডে প্রকাশ করা হলে, $W = E \cdot I \cdot t$ জুল। এই পরিমাণ কার্য তাপে রূপান্তরিত হয়ে পরিবাহীকে উত্তপ্ত করবে।

সুতরাং উৎপন্ন তাপ $H = E \cdot I \cdot t$ joule

$$= I^2 \cdot R \cdot t \text{ joule ... (i) } [E = I \times R]$$

যদি উৎপন্ন তাপ ক্যালোরিতে প্রকাশ করতে হয় এবং ঐ তাপ যদি H cal হয় তবে

$$W = JH \text{ অথবা } E \cdot I \cdot t = JH \quad [J = 4.2 \text{ joule cal}^{-1}]$$

$$\text{অথবা, } H = \frac{E \cdot I \cdot t}{J} = \frac{E \cdot I \cdot t}{4.2} \text{ cal} = \frac{I^2 \cdot R \cdot t}{4.2} \text{ cal ... (iii)}$$

অথবা, $H \propto I^2 \cdot R \cdot t$; এটাই জুল সূত্র।

ওপরন্তু $I = 1\text{A}$, $R = 1\Omega$ এবং $t = 1\text{s}$ হলে $H = \frac{1}{4.2} = 0.24 \text{ cal}$ (প্রায়)।

অর্থাৎ 1Ω রোধের পরিবাহী দিয়ে 1A প্রবাহ গেলে প্রতি সেকেন্ডে প্রায় 0.24 cal তাপ উৎপন্ন হয়।

• কয়েকটি গুরুত্বপূর্ণ তথ্য :

(a) (ii) নং সমীকরণ হতে দেখা যায় যে $H \propto I^2$, অতএব, প্রবাহের অভিমুখ বিপরীত হলেও উদ্ভূত তাপ একই থাকে অথবা উদ্ভূত তাপ প্রবাহের অভিমুখের ওপর নির্ভর করে না। এই কারণে জুল তাপীয় ফলকে অপ্ৰত্যাবর্তক (irreversible) প্রক্রিয়া বলা হয়। আবার, $H \propto R$ কিন্তু $R \propto l$ (অর্থাৎ, পরিবাহী তারের দৈর্ঘ্য) এবং $R \propto \frac{1}{\alpha}$ (α পরিবাহী তারের প্রস্থচ্ছেদ)। এথেকে সিদ্ধান্ত করা

যায় যে প্রবাহমাত্রা এবং সময় অপরিবর্তিত থাকলে উদ্ভূত তাপ পরিবাহী তারের দৈর্ঘ্যের সঙ্গে সমানুপাতিক এবং প্রস্থচ্ছেদের সঙ্গে ব্যস্তানুপাতিক ভাবে পরিবর্তিত হবে। দৈর্ঘ্য বৃদ্ধি পেলে তারের রোধ বৃদ্ধির দরুন উৎপন্ন তাপ বৃদ্ধি পাবে; আবার, তার যত সরু হবে উৎপন্ন তাপও তত বৃদ্ধি পাবে।

(b) যদি পরিবাহীর প্রান্তীয় বিভবপ্রভেদ E volt হয় তবে ওহম সূত্রানুযায়ী,

$$E = I \cdot R. \text{ কাজেই আমরা লিখতে পারি, } H = \frac{1}{4.2} EIt = \frac{1}{4.2} \times \frac{E^2}{R} \times t \text{ cal}$$

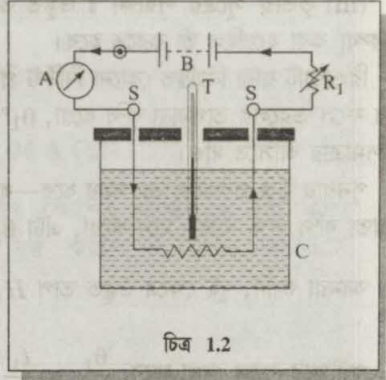
অর্থাৎ (i) $H \propto E^2$ যখন t এবং R ধ্রুবক (ii) $H \propto \frac{1}{R}$ যখন E এবং t ধ্রুবক (iii) $H \propto t$ যখন

E এবং R ধ্রুবক।

1.4. জুল সূত্রের সত্যতা পরীক্ষা (Verification of Joule's Law) :

জুল সূত্রের সত্যতা পরীক্ষার জন্য 1.2 চিত্র অনুযায়ী ব্যবস্থা অবলম্বন করতে হবে।

(i) প্রথম সূত্রের পরীক্ষা : C একটি আংশিক তরলপূর্ণ (কোন তেল) ক্যালোরিমিটার। তার উপরে কয়েকটি ছিদ্রযুক্ত একটি এবোনাইটের ঢাকনা রাখা আছে। তরলের মধ্যে একটি তারের কুণ্ডলী ডুবানো আছে। কুণ্ডলীর প্রান্তদ্বয় দুটি বন্ধনী S, S-এর সাথে যুক্ত। একটি ব্যাটারি B, একটি চাবি (key), একটি প্রবাহমাত্রামাপক অ্যামিটার A ও একটি রিওস্ট্যাট R_1 তারের সাথে শ্রেণি সমবায়ে যুক্ত। উদ্ভূত তাপ তড়িৎ প্রবাহের বর্ণের সমানুপাতিক দেখাতে হলে রিওস্ট্যাট দ্বারা নিয়ন্ত্রিত কোনো তড়িৎ-প্রবাহ তার দিয়ে পাঠাও। ধরো, এটা I_1 অ্যাম্পিয়ার; নির্দিষ্ট সময় (ধর, 10 মিনিট) ধরে প্রবাহ পাঠাবার ফলে তরলের তাপমাত্রা বৃদ্ধি থার্মোমিটার T হতে লক্ষ্য করো। ধরো, এই তাপমাত্রা বৃদ্ধি θ_1° ; প্রবাহ বন্ধ করে তরলকে আবার ঘরের তাপমাত্রায় আসতে দাও।



চিত্র 1.2

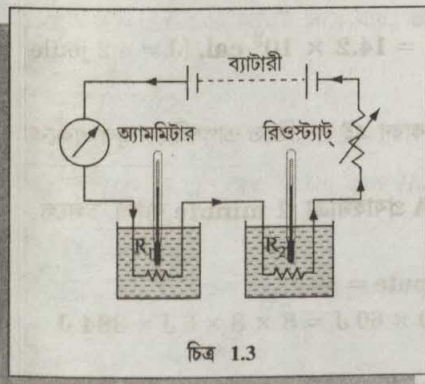
অতঃপর রিওস্ট্যাট দ্বারা প্রবাহমাত্রা বদলাও। ধরো, এই প্রবাহমাত্রা I_2 , একে পূর্বোক্ত নির্দিষ্ট সময় ধরে তারের ভিতর দিয়ে পাঠাবার ফলে তরলের যে তাপমাত্রা বৃদ্ধি হল তা লক্ষ্য করো। এটা $\theta_2^\circ \text{C}$, তরলের ও ক্যালোরিমিটারের ভর অপরিবর্তিত থাকায় দুই ক্ষেত্রে উদ্ভূত তাপ উষ্ণতা বৃদ্ধির সমানুপাতিক হবে।

উদ্ভূত তাপ যদি H_1 ও H_2 cal ধরা যায় তবে, $\frac{H_1}{H_2} = \frac{\theta_1}{\theta_2}$

পরীক্ষার ফলে দেখা যাবে $\frac{\theta_1}{\theta_2} = \frac{I_1^2}{I_2^2}$; সুতরাং, $\frac{H_1}{H_2} = \frac{I_1^2}{I_2^2}$

আবার, $H \propto I^2$ যখন R ও t ধ্রুবক।

(ii) দ্বিতীয় সূত্রের পরীক্ষা : উদ্ভূত তাপ রোধের সমানুপাতিক দেখাতে হলে একই ভর ও একই



চিত্র 1.3

উপাদানের দুটি ক্যালোরিমিটারে সমপরিমাণ তরল রেখে R_1 ও R_2 রোধযুক্ত দুটি রোধকুণ্ডলী তরলের ভিতর ডুবাও। 1.3 নং চিত্রে যেমন দেখানো হয়েছে এরূপ তড়িৎ সংযোগ ব্যবস্থা করো। R_1 ও R_2 শ্রেণি সমবায়ে থাকায় একই তড়িৎ প্রবাহ দুটি কুণ্ডলীতে প্রবাহিত হবে। রিওস্ট্যাট নিয়ন্ত্রিত করে কোনো তড়িৎ প্রবাহ পাঠাও। কোনো নির্দিষ্ট সময় ধরে প্রবাহ চললে ক্যালোরিমিটার দুটিতে তরলের উষ্ণতা বৃদ্ধি পাবে। থার্মোমিটার দ্বারা তাপমাত্রা পাঠ করো। মনে করো, তাপমাত্রা বৃদ্ধি $\theta_1^\circ \text{C}$, ও $\theta_2^\circ \text{C}$; উভয় ক্যালোরিমিটারের জলসম = W এবং তরলের ভর = m হলে উৎপন্ন

তাপ $H = (W + ms)\theta$ অথবা $H \propto \theta$; উভয় ক্যালোরিমিটারের ভর ও তাদের তরলের পরিমাণ সমান

হওয়ায় উদ্ভূত তাপ H_1 ও H_2 উষ্ণতা বৃদ্ধির সমানুপাতিক হবে। অর্থাৎ $\frac{H_1}{H_2} = \frac{\theta_1}{\theta_2}$

কিন্তু পরীক্ষার ফলে দেখা যাবে $\frac{R_1}{R_2} = \frac{\theta_1}{\theta_2}$ সুতরাং, $\frac{H_1}{H_2} = \frac{R_1}{R_2}$

অথবা, $H \propto R$ যখন I ও t ধ্রুবক।

(iii) তৃতীয় সূত্রের পরীক্ষা : উদ্ভূত তাপ সময়ের সমানুপাতিক দেখাতে হলে প্রথম পরীক্ষায় যে ব্যবস্থা করা হয়েছিল তা করতে হবে।

রিওস্ট্যাট দ্বারা নিয়ন্ত্রিত কোনো নির্দিষ্ট প্রবাহ t_1 সেকেন্ড ধরে তারের ভিতর পাঠাও (1.2 নং চিত্র)। এর ফলে তরলের তাপমাত্রা বৃদ্ধি ধরো, $\theta_1^\circ \text{C}$ হল। প্রবাহ বন্ধ করে তরল ও ক্যালোরিমিটারকে ঘরের তাপমাত্রায় আসতে দাও।

পুনরায় উক্ত প্রবাহকে ভিন্ন সময় ধরে—ধরো, t_2 সেকেন্ডে—তারের ভিতর পাঠাও। পুনরায় তরলের উদ্ভূত তাপ লক্ষ করো। মনে করো, এটা $\theta_2^\circ \text{C}$ ।

আমরা জানি, দুই ক্ষেত্রে উদ্ভূত তাপ H_1 এবং H_2 হলে, $\frac{H_1}{H_2} = \frac{\theta_1}{\theta_2}$

পরীক্ষার ফলে দেখা যাবে, $\frac{\theta_1}{\theta_2} = \frac{t_1}{t_2}$ সুতরাং $\frac{H_1}{H_2} = \frac{t_1}{t_2}$

অথবা, $H \propto t$ যখন I ও R ধ্রুবক।

□ EXAMPLES □

1. 50Ω রোধবিশিষ্ট একটি তারের কুণ্ডলীর মধ্যে 5 মিনিট ধরে 2 A প্রবাহ পাঠানো হল। নির্ণয় কর: (i) কুণ্ডলীর মধ্যে কত পরিমাণ তড়িৎ আধান প্রবাহিত হয়েছে। (ii) তড়িৎচালক বলের উৎস কত পরিমাণ কার্য করেছে এবং (iii) ক্যালরি এককে কত তাপ উৎপন্ন হয়েছে।

উঃ। (i) কুণ্ডলীর মধ্য দিয়ে প্রবাহিত তড়িৎ আধানের পরিমাণ $Q =$ তড়িৎ প্রবাহমাত্রা $(i) \times$ সময় $(t) = 2 \times 5 \times 60 = 600 \text{ C}$ ।

(ii) তড়িৎচালক বলের উৎস কর্তৃক কৃতকার্য $W = i^2 R.t. = (2)^2 \times 50 \times 5 \times 60 \text{ J} = 6 \times 10^4 \text{ J}$ ।

(iii) ক্যালরিতে উৎপন্ন তাপ $= \frac{W}{J} = \frac{6 \times 10^4}{4.2} = 14.2 \times 10^3 \text{ cal}$. [$J = 4.2 \text{ joule cal}^{-1}$]

[দ্রঃ এস. আই পদ্ধতিতে উৎপন্ন তাপ $= 6 \times 10^4 \text{ J}$ কারণ এই পদ্ধতিতে তাপশক্তিকে জুল এককে প্রকাশ করা হয়।]

2. 10Ω রোধের রোধকের ভিতর দিয়ে 0.8 A প্রবাহমাত্রা 1 minute ব্যাপী চললে, কত তাপ উৎপন্ন হবে?

উঃ। এখানে $i = 0.8 \text{ A}$; $R = 10 \Omega$; $t = 1 \text{ minute} = 60 \text{ s}$;

সুতরাং কৃতকার্য $= i^2 R.t \text{ joule} = (0.8)^2 \times 10 \times 60 \text{ J} = 8 \times 8 \times 6 \text{ J} = 384 \text{ J}$

উৎপন্ন তাপ $= 384 \text{ J}$

ক্যালরিতে উৎপন্ন তাপ $= 384/4.2 = 91.43 \text{ cal}$.

3. 10 minute ব্যাপী 10Ω রোধের কুণ্ডলীতে তড়িৎপ্রবাহ পাঠানো হল এবং উৎপন্ন তাপ সম্পূর্ণরূপে 100 g জলে সরবরাহ করা হল। জলের তাপমাত্রা 15°C হতে 75°C হলে, প্রবাহমাত্রা নির্ণয় করো।

উঃ। উৎপন্ন তাপ $H = \text{জলের পরিমাণ} \times \text{তাপমাত্রার পরিবর্তন}$
 $= 100 (75 - 15) \text{ cal} = 100 \times 60 = 6000 \text{ cal}.$

এখন তড়িৎ প্রবাহের দরুন উৎপন্ন তাপ $H = \frac{I^2 \cdot R \cdot t}{4.2} \text{ cal};$

$$\text{সুতরাং } 6000 = \frac{I^2 \times 10 \times 10 \times 60}{4.2}$$

$$\therefore I^2 = \frac{6000 \times 4.2}{10 \times 10 \times 60} = 4.2 \text{ বা } I = \sqrt{4.2} = 2.04 \text{ A (প্রায়)}।$$

৪. 5Ω রোধের একটি তাপন কুণ্ডলী একটি তড়িৎ কোশের সাথে যুক্ত করা হল। কোশটির অভ্যন্তরীণ রোধ 20Ω । কি মানের সান্ট যুক্ত করলে ঐ তাপন তারটিতে উৎপন্ন তাপ পূর্বের মানের $\frac{1}{9}$ অংশ হবে?

উঃ। $E =$ তড়িকোশের বিভবপ্রভেদ। বর্তনীর মোট রোধ =

$20 + 5 = 25 \Omega$. অতএব, প্রবাহমাত্রা $i = \frac{E}{25} \text{ A}$ এবং $R = 5 \Omega$. অতএব, প্রথমবার প্রতি সেকেন্ডে উৎপন্ন তাপ

$$H_1 = i^2 R = \frac{E^2}{(25)^2} \times 5 = \frac{E^2}{5 \times 25} \dots\dots (i)$$

এবার, ধরো, $r \Omega$ সান্ট তাপন কুণ্ডলীর সমান্তরালে যুক্ত করা হল [চিত্র 1.4]। এ অবস্থায় বর্তনীর মোট রোধ

$$R = \frac{5 \cdot r}{5 + r} + 20 = \frac{25(r + 4)}{5 + r} \text{ অতএব বর্তনীর মোট প্রবাহ}$$

$$I = \frac{E}{R} = \frac{E(5 + r)}{25(r + 4)}$$

যে প্রবাহ 5Ω রোধের ভিতর দিয়ে যায়, তা $I_1 = \frac{r}{5 + r} \cdot I$

$$= \frac{r}{5 + r} \times \frac{E(5 + r)}{25(r + 4)} = \frac{E \cdot r}{25(r + 4)}$$

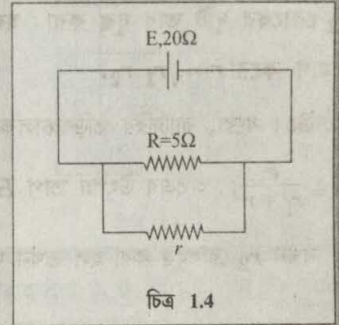
$$\text{প্রতি সেকেন্ডে } 5\text{-}\Omega \text{ রোধে উৎপন্ন তাপ } H_2 = \frac{E^2 r^2}{(25)^2 (r + 4)^2} \times 5 \text{ J} \dots\dots (ii)$$

কিন্তু $H_2 = \frac{H_1}{9}$ অথবা $\frac{H_1}{H_2} = 9$; অতএব, (i) নং সমীকরণকে (ii) নং দ্বারা ভাগ করে পাই,

$$\frac{(25)^2 (r + 4)^2}{5 \times 25 \times 5 \times r^2} = 9 \text{ অথবা, } r^2 + 8r + 16 = 9r^2 \text{ অথবা, } r^2 - r - 2 = 0$$

অথবা, $(r + 1)(r - 2) = 0$ অথবা, $r = 2 \Omega$.

[দ্রষ্টব্য : রোধ নেগেটিভ হয় না বলে $r = -1$ সমাধান অগ্রাহ্য করা হল।]



৫ দুটি তারের উপাদান ও ভর সমান কিন্তু একটির দৈর্ঘ্য অপরের দ্বিগুণ। (i) সমভোল্টেজে এবং (ii) সমপ্রবাহে এই দুই তারে উৎপন্ন তাপের অনুপাত নির্ণয় করো।

উঃ। ধরো, একটি তারের দৈর্ঘ্য ও রোধ যথাক্রমে l এবং R_1 ; অতএব, অপর তারটির দৈর্ঘ্য $2l$ এবং এর প্রস্থচ্ছেদ প্রথম তারের প্রস্থচ্ছেদ অপেক্ষা অর্ধেক, কারণ, উভয়ের ভর সমান। আবার,

উভয়ের উপাদান এক হওয়ায়, তার দুটির রোধাঙ্ক (ρ) সমান। এই অবস্থায় এবং $R_1 = \rho \times \frac{l}{\alpha}$

$$\text{এবং } R_2 = \rho \times \frac{2l}{\alpha/2} = 4R_1.$$

(i) আমরা জানি বিভবপ্রভেদ ও সময় অপরিবর্তিত থাকলে, তাপ উৎপত্তির হার রোধের ব্যস্তানুপাতিক হয়। সুতরাং এক্ষেত্রে তাপ উৎপত্তির হারের অনুপাত $= R_2 : R_1 = 4 : 1$.

(ii) আবার প্রবাহমাত্রা এবং সময় অপরিবর্তিত থাকলে তাপ উৎপত্তির হার রোধের সমানুপাতিক হয়। সুতরাং এক্ষেত্রে তাপ উৎপত্তির হারের অনুপাত $= R_1 : R_2 = 1 : 4$.

৬. r অভ্যন্তরীণ রোধবিশিষ্ট একটি ব্যাটারির সঙ্গে পরপর (successively) r_1 এবং r_2 রোধের দুটি তার যুক্ত করা হল। দুটি তারে একই সময়ে একই তাপ উৎপন্ন হলে, প্রমাণ করো $r = \sqrt{r_1 \cdot r_2}$.

উঃ। ধরো, ব্যাটারির তড়িৎচালক বল e ; যখন r_1 রোধ যুক্ত করা হল, তখন তড়িৎ-প্রবাহ

$$i_1 = \frac{e}{r_1 + r}; \text{ অতএব উৎপন্ন তাপ } H_1 = \frac{i_1^2 r_1 t}{J} = \left(\frac{e}{r_1 + r} \right)^2 \frac{r_1 t}{J} \dots (i)$$

$$\text{যখন } r_2 \text{ রোধযুক্ত করা হল তখন তড়িৎ প্রবাহ } i_2 = \frac{e}{r + r_2};$$

$$\text{অতএব উৎপন্ন তাপ } H_2 = \frac{i_2^2 \cdot r_2 t}{J} = \left(\frac{e}{r + r_2} \right)^2 \frac{r_2 t}{J} \dots (ii)$$

$$\text{প্রমানুযায়ী, } H_1 = H_2; \text{ কাজেই } \frac{e^2 \times r_1 \times t}{(r_1 + r)^2 \times J} = \frac{e^2 \times r_2 \times t}{(r_2 + r)^2 \times J}$$

$$\text{অথবা, } r_2 (r_1 + r)^2 = r_1 (r_2 + r)^2$$

$$\text{অথবা, } r_2 r_1^2 + r_2 r^2 + 2r r_1 r_2 = r_1 r_2^2 + r_1 r^2 + 2r r_1 r_2$$

$$\text{অথবা, } r^2 (r_2 - r_1) = r_1 r_2 (r_2 - r_1)$$

$$\text{অথবা, } r^2 = r_1 r_2$$

$$\text{অথবা, } r = \sqrt{r_1 \cdot r_2}$$

1.5. বৈদ্যুতিক প্রণালীতে J -এর মান নির্ণয় (Determination of J by Electrical Method) :

যদি $R \Omega$ রোধের কোনো পরিবাহীর ভিতর দিয়ে IA প্রবাহ t সেকেন্ড ধরে চলে, তবে আমরা জানি কৃতকার্য $W = I^2 R t$ joule।

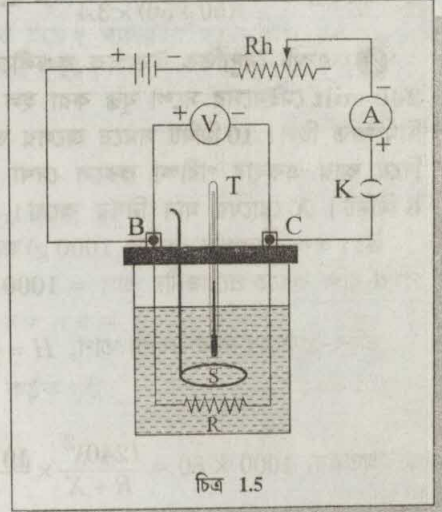
রোধের প্রান্তীয় বিভবপ্রভেদ V volt হলে $V = IR$; অতএব, $W = VIt$ joule। এই কার্যের ফলে

তাপের সৃষ্টি হবে। যদি H cal তাপ সৃষ্টি হয় তবে, $W = JH$. [J = তাপের যান্ত্রিক তুল্যাঙ্ক]

$$\text{অথবা, } VI.t. = JH. \text{ বা } J = \frac{V.I.t.}{H} \text{ joule cal}^{-1}$$

সুতরাং তড়িৎ-প্রবাহ (I), পরিবাহীর প্রান্তীয় বিভবপ্রভেদ (V), সময় (t) এবং উৎপন্ন তাপ (H) জানা থাকলে, J -এর মান নির্ণয় করা যাবে।

পরীক্ষা : পরীক্ষা ব্যবস্থা 1.5 চিত্রে দেখানো হয়েছে। একটি নিকেল প্রলেপসহ তামার ক্যালোরিমিটার নিতে হবে। ক্যালোরিমিটারের মুখ একটি এবোনাইটের ঢাকনা দ্বারা বন্ধ করা যায়। ক্যালোরিমিটারকে S আলোড়কসহ খালি অবস্থায় ওজন করতে হবে এবং পরে তাতে কিছু তরল (কোনো তেল) নিয়ে তরলসহ ওজন করতে হবে। এথেকে তরলের ভর পাওয়া যাবে। তরলের মধ্যে একটি তার কুণ্ডলী R এবং একটি থার্মোমিটার T ঢাকনার ছিদ্র দিয়ে প্রবেশ করানো আছে। একটি ব্যাটারি E , পরিবর্তনীয় রোধক R_h , চাবি K এবং অ্যামিটার A কুণ্ডলীর সাথে শ্রেণি সমবায়ে যুক্ত আছে। কুণ্ডলীর দুই প্রান্তে (B এবং C) একটি ভোল্টমিটার (V) যুক্ত আছে।



চিত্র 1.5

থার্মোমিটারের সাহায্যে তরলের প্রারম্ভিক তাপমাত্রা লক্ষ্য করো। চাবি K বন্ধ করে কুণ্ডলীতে প্রবাহ পাঠাও এবং আলোড়কের সাহায্যে তরল ধীরে ধীরে নাড়তে থাক। স্টপঘড়ির সাহায্যে সময় লক্ষ্য করে পাঁচ মিনিট (t) পর প্রবাহ বন্ধ করো। থার্মোমিটারের সহায়তায় তরলের চূড়ান্ত তাপমাত্রা দেখো। অ্যামিটার হতে প্রবাহমাত্রা (I) এবং ভোল্টমিটার হতে বিভবপ্রভেদ (V) নোট করো।

যদি ক্যালোরিমিটার জলসম M g, তরলের ভর m g, তরলের আপেক্ষিক তাপ s এবং তাপমাত্রা বৃদ্ধি $\theta^\circ \text{C}$ হয় তবে উৎপন্ন তাপ $H = (M + m.s.) \theta \text{ cal}$

$$\text{অতএব, } J = \frac{V.I.t.}{(M + m.s.) \theta} \text{ joule cal}^{-1}.$$

পরিবর্তনীয় রোধকের মান পরিবর্তন করে নতুন প্রবাহমাত্রা ভিন্ন সময় ধরে পাঠিয়ে পরীক্ষার পুনরাবৃত্তি করতে হবে এবং তা থেকে J -এর গড় মান নির্ধারণ করতে হবে।

ত্রুটির উৎস (Sources of error) : এই পরীক্ষায় ক্যালোরিমিটারের জলসম ও তরলের চূড়ান্ত তাপমাত্রা নির্ভুলভাবে নির্ণয় করা যায় না। ওপরন্তু তারকুণ্ডলীর রোধ তাপমাত্রার সাথে কিছুটা পরিবর্তিত হয়; তাই পরীক্ষা চলাকালীন V এবং I -এর মান স্থির রাখা যায় না। তাছাড়া, বিকিরণের দ্বারা ক্যালোরিমিটার হতে বেশ কিছু পরিমাণ তাপ নষ্ট হয়। এই সকল কারণে এই পরীক্ষার সাহায্যে J -র খুব নির্ভরযোগ্য মান পাওয়া যায় না।

□ EXAMPLES □

1. 2 A প্রবাহমাত্রা 3Ω রোধের একটি তার কুণ্ডলীর ভিতর দিয়ে 2 minute ব্যাপী পাঠানো হল। কুণ্ডলী 50 g জলসমযুক্ত একটি ক্যালোরিমিটারে রাখা 50 g জলের ভিতর নিমজ্জিত ছিল। জলের তাপমাত্রা বৃদ্ধি 3.4°C হলে, J -এর মান নির্ণয় করো।

$$\text{উঃ। } J = \frac{V.I.t}{(M+m.s.)\theta} = \frac{I^2 R t}{(M+m.s.)\theta} \text{ joule cal}^{-1}$$

এক্ষেত্রে, $I = 2 \text{ A}$; $R = 3 \Omega$; $t = 2 \times 60 \text{ s}$; $M = 50 \text{ g}$; $m = 50 \text{ g}$; $s = 1$ এবং $\theta = 3.4^\circ \text{C}$

$$\text{কাজেই, } J = \frac{(2)^2 \times 3 \times 2 \times 60}{(50+50) \times 3.4} = 4.23 \text{ joule cal}^{-1}.$$

২. একটি বৈদ্যুতিক উত্তাপক কুণ্ডলীকে $X \Omega$ রোধের সঙ্গে শ্রেণি সমবায়ে আবদ্ধ করে 240 volt মেইনসের সঙ্গে যুক্ত করা হল। কুণ্ডলীটি 20°C তাপমাত্রার এক কিলোগ্রাম জলে নিমজ্জিত ছিল। 10 মিনিট সময়ে জলের তাপমাত্রা স্ফুটনাঙ্কে পৌঁছোল। X -রোধকটিকে বাদ দিয়ে আর একবার পরীক্ষা করলে দেখা গেল যে একই তাপ উৎপন্ন করতে সময় লাগল 6 মিনিট। X -রোধের মান নির্ণয় করো।

উঃ। এক কিলোগ্রাম (অর্থাৎ 1000 g) জলের তাপমাত্রা 20°C হতে 100°C (জলের স্ফুটনাঙ্ক) পর্যন্ত বৃদ্ধি করতে প্রয়োজনীয় তাপ $= 1000 \times (100 - 20) = 1000 \times 80 \text{ cal}$.

তড়িৎ-প্রবাহের দরুন উৎপন্ন তাপ, $H = \frac{E^2}{R} \times \frac{t}{J} \text{ cal}$. প্রথমক্ষেত্রে বর্তনীর রোধ $(R + X)$
 $[R = \text{কুণ্ডলীর রোধ}]$

$$\text{অতএব, } 1000 \times 80 = \frac{(240)^2}{R + X} \times \frac{10 \times 60}{J}$$

$$\text{অথবা, } R + X = \frac{(240)^2 \times 10 \times 60}{1000 \times 80 \times 4.2} \dots \dots (i)$$

দ্বিতীয়বার X রোধ বাদ দেওয়ায়, বর্তনী রোধ $= R$; কাজেই,

$$1000 \times 80 = \frac{(240)^2 \times 6 \times 60}{R \times J} \text{ অথবা } R = \frac{(240)^2 \times 6 \times 60}{1000 \times 80 \times 4.2} \dots \dots (ii)$$

(ii) নং সমীকরণকে (i) নং হতে বিয়োগ করলে পাই;

$$X = \frac{(240)^2 \times 60 \times 4}{1000 \times 80 \times 4.2} = 41.14 \Omega \text{ (প্রায়)}.$$

৩. সুইচের সাহায্যে বর্তনী সংহত করার 15 minute পর একটি বৈদ্যুতিক কেটলির তরল ফুটতে আরম্ভ করে। এর তাপক তারটির দৈর্ঘ্য 6 m। তাপক তারটির কি পরিবর্তন করলে 'সুইচ অন্' করার 10 minute পর কেটলীর তরল ফুটতে থাকবে? পারিপার্শ্বিক বায়ুমণ্ডলে তাপক্ষয় উপেক্ষা করো।

উঃ। ধরো, তরল ফুটতে $H \text{ cal}$ তাপ লাগে। যদি E হয় তাপক তারের বিভবপ্রভেদ এবং R_1 তারের রোধ, তবে $H = \frac{E^2 \cdot t}{J \cdot R}$ সমীকরণ হতে লেখা যায়, $H = \frac{E^2}{R_1} \times \frac{15 \times 60}{4.2} \dots \dots (i)$

দ্বিতীয়বার ধর, তাপক রোধের মান $= R_2$; যেহেতু একই পরিমাণ তাপ লাগছে সেইহেতু

$$H = \frac{E^2}{R_2} \times \frac{10 \times 60}{4.2} \dots \dots (ii)$$

(i) এবং (ii) সমীকরণ হতে পাই, $\frac{15}{R_1} = \frac{10}{R_2}$.

রোধ তারের দৈর্ঘ্যের সমানুপাতিক বলে লেখা যায়, $\frac{15}{6} = \frac{10}{l} \therefore l = \frac{6}{15} \times 10 = 4 \text{ m}$

সুতরাং তাপক তারের দৈর্ঘ্য 2 m কম করতে হবে।

১.৬ নং চিত্রে 5Ω রোধটি ক্যালোরিমিটারের জলে নিমজ্জিত রাখা আছে। জলসহ ক্যালোরিমিটারের তাপগ্রাহিতা 1000 J/K । ব্যাটারি যদি 10 minute যাবৎ তড়িৎ প্রবাহ পাঠায় তা হলে জলের তাপমাত্রা বৃদ্ধি কত হবে? ধরো, নিমজ্জিত 5Ω রোধের সমান্তরালে আর একটি যে 5Ω রোধ আছে তা হঠাৎ পুড়ে গিয়ে বিচ্ছিন্ন হল। এই ঘটনার 10 minute পরে জলের তাপমাত্রা বৃদ্ধি কত হবে? ব্যাটারির তড়িচ্চালক বল = 7.5 V.

উঃ। দুটি 5Ω রোধ সমান্তরাল সমবায়ে থাকায় তাদের তুল্য রোধ = $5/2 = 2.5\Omega$

বর্তনীর মোট রোধ $2.5 + 2.5 = 5\Omega$

বর্তনীর প্রবাহমাত্রা $i = \frac{7.5\text{V}}{5\Omega} = 1.5 \text{ A}$

এই প্রবাহের যে অংশ জলে নিমজ্জিত রোধে যাচ্ছে তা

$$i_1 = \frac{5}{5+5} \times i = \frac{1}{2} \times 1.5 = 0.75 \text{ A.}$$

\therefore তড়িৎ প্রবাহের দরুন উৎপন্ন তাপ = $i^2 \times r \times t = (0.75)^2 \times 5 \times 10 \times 60 \text{ joule}$

যদি জলের তাপমাত্রা বৃদ্ধি $\theta^\circ\text{C}$ হয়, তবে জল কর্তৃক গৃহীত তাপ = তাপগ্রাহিতা $\times \theta = 1000 \times \theta \text{ joule}$.

$\therefore 1000 \times \theta = (0.75)^2 \times 5 \times 10 \times 60 \therefore \theta = 1.69^\circ\text{C}$ (প্রায়)।

এখন, সমান্তরাল 5Ω রোধ (AB) পুড়ে বিচ্ছিন্ন হলে, বর্তনীর রোধ দাঁড়ায় $= 5 + 2.5 = 7.5\Omega$

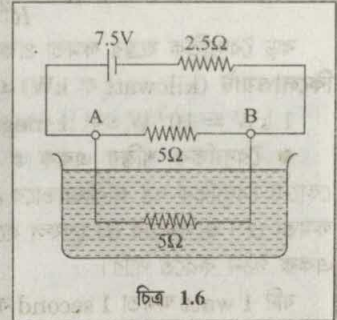
এইবার জলে নিমজ্জিত 5Ω তারে প্রবাহমাত্রা $i = \frac{7.5}{7.5} = 1 \text{ A}$.

\therefore উৎপন্ন তাপ = $i^2 \times r \times t = (1)^2 \times 5 \times 10 \times 60 \text{ joule}$

জলের তাপমাত্রা বৃদ্ধি যদি $\theta_1^\circ\text{C}$ হয়, তবে জল কর্তৃক গৃহীত তাপ = $1000 \times \theta_1 \text{ joule}$.

$\therefore 1000 \theta_1 = (1)^2 \times 5 \times 10 \times 60$

অথবা, $\theta_1 = 3^\circ\text{C}$.



1.6. তড়িৎ শক্তি ও ক্ষমতা (Electrical energy and power) :

কোনো তড়িৎযন্ত্রের কার্য করার সামর্থ্যকে তড়িৎ শক্তি বলা হয়। যেমন, কোন তড়িৎযন্ত্র যদি কোন পরিবাহীর ভিতর দিয়ে Q -পরিমাণ তড়িৎ পাঠায় এবং পরিবাহীর প্রান্তীয় বিভবপ্রভেদ V হয়, তবে সম্পাদিত কার্য অর্থাৎ, তড়িৎ শক্তি = $V \times Q$.

(a) এস. আই একক অনুযায়ী যদি Q coulomb এবং V volt এককে প্রকাশ করা হয় তবে সম্পাদিত কার্য বা তড়িৎ শক্তি = $Q \times V \text{ joule}$.

(b) Q এবং V কে c.g.s (emu) পদ্ধতিতে প্রকাশ করলে, সম্পাদিত কার্য বা তড়িৎশক্তি = $Q \times V \text{ erg}$.

● ক্ষমতার একক : কার্য, ক্ষমতা ও শক্তি শীর্ষক পরিচ্ছেদে (পদার্থ বিজ্ঞান পরিচয় প্রথম ভাগ) উল্লেখ করা হয়েছে যে, কার্য করার হারকে ক্ষমতা বলে। তড়িৎ ক্ষমতা বলতে তড়িৎ প্রবাহের কার্য করার হার-কে বুঝায়। বৈদ্যুতিক যন্ত্রের ক্ষমতা ওয়াট (watt) নামক এককে প্রকাশ করা হয়। এক সেকেন্ডে এক জুল কার্য করতে পারলে সেই ক্ষমতাকে 1 ওয়াট বলা হয়।

$$\therefore 1 \text{ watt} = 1 \text{ Js}^{-1} = 10^7 \text{ erg s}^{-1}$$

পূর্বে উল্লেখ করা হয়েছে যে, Q coulomb তড়িৎ t সেকেন্ড সময়ে V volt বিভবপ্রভেদে অতিক্রম করলে মোট সম্পাদিত কার্য = $Q \times V$ joule। সুতরাং তড়িৎ প্রবাহের কার্যের হার বা ক্ষমতা

$$P = \frac{Q \times V}{t} = I \times V \text{ watt} \quad \text{কারণ, } \frac{Q \text{ কুলম্ব}}{t \text{ সেকেন্ড}} = I \text{ (ampere)}$$

মনে রাখবে, ওয়াট = অ্যাম্পিয়ার \times ভোল্ট

● ক্ষমতার বিভিন্ন ব্যঞ্জক (expression):

$$\text{ক্ষমতা } P = I \times V \text{ watt} = I^2 R \text{ watt} [\because V = IR]$$

$$\text{অথবা ক্ষমতা } P = I^2 R = \frac{V^2}{R^2} \times R = \frac{V^2}{R} \text{ watt} \quad \left[\because I = \frac{V}{R} \right]$$

বড় বৈদ্যুতিক যন্ত্রের ক্ষমতা প্রকাশের জন্য সাধারণত বড় একক ব্যবহৃত হয়। এই বড় একক-কে কিলোওয়াট (kilowatt বা kW) এবং মেগাওয়াট (MW) বলে।

$$1 \text{ kW} = 10^3 \text{ W} \text{ এবং } 1 \text{ megawatt} = 10^6 \text{ watt}।$$

● বৈদ্যুতিক শক্তির একক : যেহেতু সম্পাদিত কার্য = ক্ষমতা \times সময়, তাই P ক্ষমতাসম্পন্ন কোনো বৈদ্যুতিক যন্ত্র অবিচ্ছিন্নভাবে t সময়ব্যাপী কার্য করলে উক্ত যন্ত্র কর্তৃক সম্পাদিত কার্যের পরিমাণ ক্ষমতা (P) ও সময়ের (t) গুণফল হতে পাওয়া যাবে। এথেকে আমরা বৈদ্যুতিক শক্তি বা কার্যের বিভিন্ন একক গঠন করতে পারি।

যদি 1 watt ক্ষমতা 1 second ব্যাপী কার্য করে তবে যে শক্তি ব্যয়িত হয় তাকে 1 Joule বলা হয়। অর্থাৎ জুল = ওয়াট \times 1 সেকেন্ড।

আবার, 1 ওয়াট ক্ষমতা 1 ঘণ্টাব্যাপী কার্য করলে যে শক্তি ব্যয়িত হয় তাকে ওয়াট-ঘণ্টা (watt-hour) বলে। অর্থাৎ 1 ওয়াট-ঘণ্টা = 1 ওয়াট \times 1 ঘণ্টা।

$$\begin{aligned} \bullet \text{ ওয়াট-ঘণ্টা ও জুলের সম্পর্ক : } 1 \text{ watt-hour} &= 1 \text{ ওয়াট} \times 1 \text{ ঘণ্টা} \\ &= 1 \text{ ওয়াট} \times 3600 \text{ সেকেন্ড} = 3600 \text{ joule}। \end{aligned}$$

● কিলোওয়াট-ঘণ্টা বা বি. ও. টি একক : বিদ্যুৎ সরবরাহ কোম্পানি বাড়িতে যে বিদ্যুৎ সরবরাহ করে তার পরিমাপ শক্তির একক অনুযায়ী করা হয়। একে কিলোওয়াট ঘণ্টা (kilowatt-hour) সংক্ষেপে kWh) বা বোর্ড অব ট্রেড একক (B.O.T. unit) বলা হয়। এক কিলোওয়াট-ক্ষমতাসম্পন্ন যন্ত্র একঘণ্টা ধরে তড়িৎ প্রবাহ সরবরাহ করলে মোট শক্তির পরিমাণকে 1 কিলোওয়াট-ঘণ্টা বলে।

$$1 \text{ B.O.T} = 1000 \text{ watt-hour}$$

$$\text{মনে রাখবে, বি. ও. টি. একক} = \frac{\text{ওয়াট-ঘণ্টা}}{1000} = \frac{\text{অ্যাম্পিয়ার} \times \text{ভোল্ট} \times \text{ঘণ্টা}}{1000}$$

প্রত্যেক বাড়ির বিদ্যুৎ-সংযোগ ব্যবস্থার সাথে কোম্পানি একটি মিটার বসিয়ে দেয়। এই মিটার বি.ও.টি. একক অনুযায়ী বাড়িতে মোট তড়িৎ শক্তি খরচের হিসাব রাখে। এই একক সাধারণ কথায় ‘ইউনিট’ নামে পরিচিত।

BOT একক এবং ক্যালরির সম্পর্ক :

$$1 \text{ BOT একক} = 1000 \text{ watt-hour} = 3600 \times 1000 \text{ J} = \frac{36 \times 10^5 \text{ J}}{4.2 \text{ J/cal}} = 8.6 \times 10^5 \text{ cal}$$

$$[1 \text{ watt-hour} = 360 \text{ J}]$$

● বৈদ্যুতিক বাতি সম্পর্কে জ্ঞাতব্য বিষয় :

অনেক সময় বৈদ্যুতিক বাতির গায়ে ভোল্ট ও ওয়াট লেখা থাকে— যেমন ‘220 volt—100

watt'। একথার পূর্ণ অর্থ আমরা উল্লিখিত বৈদ্যুতিক রাশিগুলি থেকে পেতে পারি।

'220 volt' লিখে দেবার অর্থ এই যে এই বাতি 220 volt তড়িৎ উৎসের— যেমন মেইন্স-এর সাথে যুক্ত করলে বাতি সর্বোচ্চ উজ্জ্বলতা নিয়ে আলো দিতে থাকবে। '100 watt' কথার অর্থ এই যে বাতি প্রতি সেকেন্ডে 100 joule তড়িৎ শক্তি ব্যয় করে এবং যে তড়িৎ প্রবাহ নেয় তা $\frac{100}{220} = 0.45 \text{ A}$

(প্রায়)

তাহাড়া, যদি এই বাতিকে ধরো, 10 ঘণ্টা জ্বালানো হয়, তবে যে মোট তড়িৎশক্তি ব্যয়িত হল, তা হবে $= 100 \times 10 = 1000 \text{ watt hour} = \frac{1000}{1000} \text{ kWh}$. (অথবা 1 B.O.T. একক)

মনে রাখবে যে বাড়িতে তড়িৎ সংযোগ ব্যবস্থায় আলো, পাখা ইত্যাদি সব তড়িৎযন্ত্র যাতে একই বিভেদপ্রভেদ পায় যেজন্য তাদের সমান্তরাল সমবায়ে রাখা হয়।

□ EXAMPLES □

1. ভাষার অবস্থায় একটি বৈদ্যুতিক বাতির রোধ 400Ω । এই বাতিকে 10 ঘণ্টাব্যাপী 200 volt বিভবপ্রভেদের সাথে যুক্ত করা হল। প্রতি ইউনিটের ব্যয় 30 পয়সা হলে, তাতে মোট কত খরচ পড়বে?

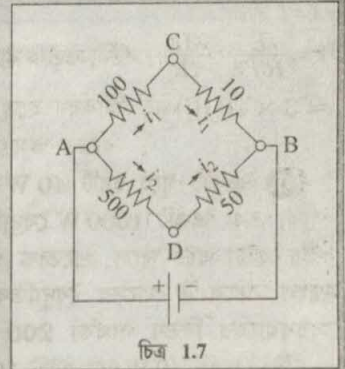
$$\text{উঃ। বাতির তড়িৎ প্রবাহ} = \frac{\text{বিভবপ্রভেদ}}{\text{রোধ}} = \frac{200}{400} \text{ A} = \frac{1}{2} \text{ A}$$

$$\text{মোট ব্যয়িত বি. ও. টি. একক} = \frac{\text{অ্যাম্পিয়ার} \times \text{ভোল্ট} \times \text{ঘণ্টা}}{1000} = \frac{\frac{1}{2} \times 200 \times 10}{1000} = 1$$

$$\text{সুতরাং খরচ} = 30 \text{ পয়সা।}$$

2. একটি প্রতিমিত Wheatstone bridge-এর চারটি বাহুতে যথাক্রমে 100, 10, 500 এবং 50Ω রোধ আছে। Bridge-এর বিভিন্ন শাখাতে উৎপন্ন তাপের অনুপাত নির্ণয় করো।

উঃ। 1.7 নং চিত্রে প্রতিমিত Wheatstone bridge দেখানো হয়েছে। ব্রিজ প্রতিমিত বলে AC পথে i_1 প্রবাহ গেলে CB পথেও i_1 প্রবাহ যাবে। আবার AD পথে i_2 প্রবাহ গেলে DB পথেও i_2 প্রবাহ যাবে। তাহাড়া ACB পথের রোধ = $100 + 10 = 110 \Omega$ এবং ADB পথের রোধ = $500 + 50 = 550 \Omega$; স্পষ্টত ADB পথের রোধ ACB পথের রোধের পাঁচগুণ। অতএব, ACB পথে যে প্রবাহমাত্রা যাবে তা ADB পথের প্রবাহমাত্রার পাঁচগুণ অর্থাৎ $i_1 = 5i_2$ ।



$$\text{এখন, } 100 \Omega \text{ রোধে উৎপন্ন তাপের হার} = i_1^2 \times 100 = (5i_2)^2 \times 100 = 25i_2^2 \times 100 \text{ J}$$

$$10 \Omega \text{ রোধে উৎপন্ন তাপের হার} = i_1^2 \times 10 = (5i_2)^2 \times 10 = 25i_2^2 \times 10 \text{ J}$$

$$500 \Omega \text{ রোধে উৎপন্ন তাপের হার} = i_2^2 \times 500 \text{ J}$$

$$50 \Omega \text{ রোধে উৎপন্ন তাপের হার} = i_2^2 \times 50 \text{ J}$$

$$H_1 : H_2 : H_3 : H_4 = 25i_2^2 \times 100 : 25i_2^2 \times 10 : i_2^2 \times 500 : i_2^2 \times 50 \\ = 50 : 5 : 10 : 1.$$

৩. 220 volt লাইনে 500 watt ক্ষমতা গ্রহণকারী দুটি বৈদ্যুতিক বাতিকে শ্রেণি সমবায়ে 110 volt লাইনে যুক্ত করা হলে, প্রতিটি বাতি কত ক্ষমতা উৎপন্ন করবে?

উঃ। ক্ষমতা = অ্যাম্পিয়ার × ভোল্ট। 220 ভোল্ট লাইনে যুক্ত থাকাকালীন প্রত্যেক বাতি কর্তৃক গৃহীত প্রবাহ = $\frac{\text{ক্ষমতা}}{\text{ভোল্ট}} = \frac{500}{220} = \frac{50}{22}$ A.

$$\text{অতএব, প্রতি বাতির রোধ } R = \frac{\text{ভোল্ট}}{\text{অ্যাম্পিয়ার}} = \frac{220}{50/22} = \frac{(22)^2}{5} \Omega$$

যদি দুটিকে শ্রেণি সমবায়ে 110 ভোল্ট লাইনে যুক্ত করা হলে, প্রত্যেক বাতির প্রবাহ = $\frac{110}{2R}$ A.

শ্রেণি সমবায়ে থাকায় প্রত্যেক বাতির বিভবপ্রভেদ $\frac{110}{2} = 55V$ । অতএব, প্রত্যেক বাতি কর্তৃক

$$\text{উৎপন্ন ক্ষমতা} = \text{ভোল্ট} \times \text{প্রবাহ} = 55 \times \frac{10}{2R} = \frac{55 \times 110}{2 \times (22)^2} \times 5 = \frac{125}{4} = 31.25 \text{ watt.}$$

৪. একই মানের তিনটি রোধ-কে শ্রেণি সমবায়ে যুক্ত করে তাদের দুই প্রান্তে একটি তড়িৎচালক বলের উৎস যুক্ত করা হলে 10 W ক্ষমতা ব্যয়িত হয়। রোধ তিনটিকে সমান্তরাল সমবায়ে যুক্ত করে একই তড়িৎ চালক বল প্রয়োগ করলে, কত ওয়াট ক্ষমতা ব্যয়িত হবে?

উঃ। ধরো, প্রত্যেকটি রোধের মান = R এবং তড়িৎ উৎসের তড়িৎচালক বল = E .

রোধগুলি শ্রেণি সমবায়ে থাকলে মোট রোধ = $3R$; অতএব, বর্তনীর প্রবাহমাত্রা $i = \frac{E}{3R}$

$$\text{বর্তনী কর্তৃক ব্যয়িত ক্ষমতা} = \text{প্রবাহমাত্রা} \times \text{তড়িৎচালক বল} = i \times E = \frac{E^2}{3R}$$

$$\text{প্রদান্নুযায়ী } \frac{E^2}{3R} = 10 \text{ অথবা } \frac{E^2}{R} = 30 \dots (i)$$

রোধগুলি সমান্তরাল সমবায়ে থাকলে, মোট রোধ = $\frac{R}{3}$; অতএব, বর্তনীর প্রবাহমাত্রা

$$i = \frac{E}{R/3} = \frac{3E}{R} \text{। বর্তনী কর্তৃক ব্যয়িত ক্ষমতা} = \text{প্রবাহমাত্রা} \times \text{তড়িৎচালক বল} = i \times E = \frac{3E^2}{R}$$

$$= 3 \times 30 \text{ [(i) নং সমীকরণ হতে]}$$

$$\text{ব্যয়িত ক্ষমতা} = 90 \text{ W.}$$

৫. একটি গৃহে ছয়টি 40 W এবং দুটি 100 W বৈদ্যুতিক বাতি, চারটি 40 W বৈদ্যুতিক পাখা এবং একটি 1000 W বৈদ্যুতিক হিটার আছে। যদি এপ্রিল মাসে প্রতিদিন প্রত্যেক বাতি পাঁচ ঘণ্টা ধরে জ্বলে, প্রত্যেক পাখা পনেরো ঘণ্টা ধরে চলে এবং হিটার দুই ঘণ্টা ধরে জ্বলে, তবে ঐ মাসের বৈদ্যুতিক বিল কত হবে? ধরা যায় যে ঐ গৃহে মূল বৈদ্যুতিক সরবরাহের বিভব পার্থক্য 200 volt এবং প্রতি B.O.T এককের মূল্য = টা 1.50.

উঃ। ছয়টি 40 W এবং দুইটি 100 W বাতির মোট ওয়াট = $6 \times 40 + 2 \times 100 = 440 \text{ W}$
প্রতিদিন পাঁচ ঘণ্টা জ্বলে বাতিগুলি কর্তৃক মোট বৈদ্যুতিক শক্তি ব্যয় = 440×5
 $= 2200 \text{ watt-hour}$

চারটি 40 W বৈদ্যুতিক পাখার মোট ওয়াট = $4 \times 40 = 160 \text{ watt.}$

প্রতিটি পাখা 15 ঘণ্টা চললে পাখা কর্তৃক মোট বৈদ্যুতিক শক্তি ব্যয় = 160×15

$$= 2400 \text{ watt-hour}$$

1000 W বৈদ্যুতিক হিটার প্রতিদিন 2 ঘণ্টা চললে মোট বৈদ্যুতিক শক্তি ব্যয় = $1000 \times 2 =$

$$2000 \text{ watt-hour}$$

বাড়িতে প্রতিদিন মোট শক্তি ব্যয় = $2200 + 2400 + 2000 = 6600$ watt-hour

মোট B.O.T. ইউনিট ব্যয় = $\frac{6600}{1000} = 6.6$ ইউনিট

এপ্রিল মাসে 30 দিন আছে বলে মাসে মোট বৈদ্যুতিক শক্তি ব্যয় = $6.6 \times 30 = 198$ ইউনিট

∴ বৈদ্যুতিক বিল = $198 \times \text{Rs. } 1.50 = \text{Rs. } 297$.

6. যদি বিদ্যুৎ সরবরাহের ভোল্টেজ 220V হতে কমে 200V হয় তবে '220V 1000W' চিহ্নিত একটি হিটার কর্তৃক প্রদত্ত তাপশক্তির পরিমাণ শতকরা কত কমবে? হিটারটির রোধের পরিবর্তন অগ্রাহ্য করো। উষ্ণতার সাথে রোধের পরিবর্তন ধরলে, হিটার কর্তৃক প্রদত্ত তাপের হ্রাসের পরিমাণ কি পূর্ব নির্ধারিত পরিমাণ হতে কম হবে না বেশি হবে? ব্যাখ্যা করো।

উঃ। ক্ষমতা $P = \frac{E^2}{R}$ অথবা $R = \frac{E^2}{P}$

হিটারের বেলায়, $E = 220$ V এবং $P = 1000$ W; অতএব, হিটারের রোধ $R = \frac{(220)^2}{1000} =$

48.4 Ω

পরিবর্তিত ক্ষমতা $P' = \frac{(E')^2}{R} = \frac{(200)^2}{48.4} = 826.45$ W

প্রদত্ত তাপশক্তির শতকরা হ্রাস = $\frac{P - P'}{P} \times 100 = \frac{1000 - 826.45}{1000} \times 100 = 17.3\%$.

উষ্ণতা বৃদ্ধিতে হিটারের রোধ বৃদ্ধি পাবে। ক্ষমতা রোধের ব্যস্তানুপাতিক বলে, রোধ বৃদ্ধিতে ক্ষমতা হ্রাস পাবে। সুতরাং উষ্ণতার সাথে রোধের পরিবর্তন ধরলে প্রদত্ত তাপের হ্রাস পূর্ব নির্ধারিত পরিমাণ হতে আরও কম হবে।

1.7. সর্বনিম্ন তাপের নীতি (Principle of least heat):

যখন কোনো তড়িৎ বর্তনীর বিভিন্ন শাখায় তড়িৎ প্রবাহ বন্টিত হয় তখন এই বণ্টন এরূপভাবে ঘটে যাতে তাপ উৎপাদন সর্বাপেক্ষা কম হয়। একে সর্বনিম্ন তাপের নীতি বলা হয়।

দুটি রোধ r_1 এবং r_2 সমান্তরাল সমবায়ে থেকে যদি একটি ব্যাটারির সাথে যুক্ত হয় এবং ব্যাটারি যদি মূলপ্রবাহ i পাঠায় তবে ওহ্ম সূত্র হতে প্রমাণ করা হয়েছে, ঐ প্রবাহ রোধ দুটির ভিতর এরূপভাবে

বন্টিত হবে যে $i_1 = \frac{r_2}{r_1 + r_2} \cdot i$ এবং $i_2 = \frac{r_1}{r_1 + r_2} \cdot i$ অথবা, $\frac{i_1}{i_2} = \frac{r_2}{r_1}$ । এটাও নিম্নলিখিতরূপে প্রমাণ

করা যায় যে r_1 এবং r_2 রোধে তাপ উৎপাদন সর্বনিম্ন হলে, $\frac{i_1}{i_2} = \frac{r_2}{r_1}$ হবে।

প্রমাণ : ধরো, r_1 রোধে i_1 প্রবাহ যাচ্ছে এবং r_2 রোধে i_2 ; অতএব $i_1 + i_2 = i$ অথবা $i_2 = (i - i_1)$ ।

সমবায়ে উদ্ভূত মোট তাপের হার $H = \frac{i_1^2 r_1}{J} = \frac{(i - i_1)^2 \cdot r_2}{J} \text{ cal s}^{-1}$.

এই তাপ উৎপাদনের হার নিম্নতম হলে, $\frac{dH}{di_1} = 0$

এখন, $\frac{dH}{di_1} = \frac{1}{J} [2i_1 r_1 - 2(i - i_1) r_2]$ [i = ধ্রুবক]

তাপ উৎপাদনের হার সর্বনিম্ন হলে, $2i_1r_1 - 2(i - i_1).r_2 = 0$

অথবা, $2i_1r_1 = 2i_2r_2$ অথবা, $\frac{i_1}{i_2} = \frac{r_2}{r_1}$

সুতরাং বলা যায়, তড়িৎ প্রবাহ রোধ দুটিতে এরূপভাবে বন্টিত হবে যে তাদের তাপ উৎপাদন সর্বনিম্ন হয়। বর্তনীতে দুটির বেশি রোধ থাকলেও এই নীতি প্রযোজ্য হবে।

□ EXAMPLES □

1. E তড়িচ্চালক বল এবং r অভ্যন্তরীণ রোধের একটি ব্যাটারির সাথে একটি পরিবর্তনীয় বহিঃরোধ R যুক্ত আছে। বহিঃরোধ R -এর মান কত হলে, ঐ রোধে উৎপন্ন ক্ষমতা সর্বাধিক হবে? [Jt. Entrance 2005]

উঃ। বর্তনীর মোট রোধ $= R + r$; অতএব বর্তনীর প্রবাহমাত্রা $i = \frac{E}{R+r}$.

R রোধে উৎপন্ন ক্ষমতা $P = i^2R = \frac{E^2 \cdot R}{(R+r)^2} \dots (i)$

P সর্বাধিক (maximum) হলে, $\frac{dP}{dR} = 0$

(i) নং সমীকরণকে ডিফারেন্সিয়েট করলে পাই, $\frac{dP}{dR} = E^2 \left[\frac{(R+r)^2 - 2R(R+r)}{(R+r)^2} \right]$

এটা শূন্য হবে যখন $(R+r)^2 - 2R(R+r) = 0$ অথবা, $R+r = 2R \therefore R = r$

অর্থাৎ বহিঃরোধ যখন ব্যাটারির অভ্যন্তরীণ রোধের সমান হয়, তখন উৎপন্ন ক্ষমতা গরিষ্ঠ মান পায়।

2. একটি বৈদ্যুতিক লাইনের মোট রোধ 0.2Ω এবং এই লাইন একটি ফ্যাক্টরীকে $220V$ বিভবপ্রভেদে 10 kW ক্ষমতা সরবরাহ করে। সরবরাহ লাইনের কর্মদক্ষতা নির্ণয় করো।

উঃ। বিদ্যুৎ সরবরাহ লাইন (electric transmission line) গ্রাহক-কে (যেমন, কোন কারখানাকে) যে ক্ষমতা সরবরাহ করে বাইরের উৎস হতে লাইনে তদপেক্ষা বেশি ক্ষমতা দেওয়া আবশ্যিক কারণ লাইন বরাবর তড়িৎ প্রবাহ যাবার সময় লাইনের রোধের জন্য কিছু ক্ষমতার অপচয় হয়।

এই কারণে লাইনের কর্মদক্ষতা $= \frac{\text{গ্রাহক-কে সরবরাহ করা ক্ষমতা}}{\text{লাইন দেওয়া মোট ক্ষমতা}} = \frac{10\text{ kW}}{10\text{ kW} + x\text{ kW}}$

এখানে $x\text{ kW}$ = লাইনের রোধের জন্য ক্ষমতা।

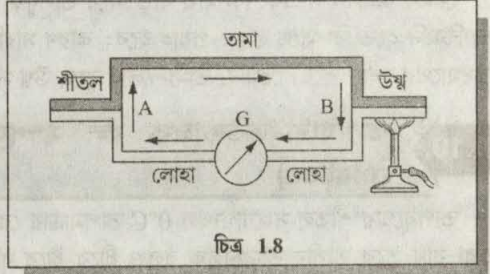
এখন, $x = i^2 R = \left(\frac{P}{V}\right)^2 \cdot R = \left(\frac{10,000\text{ W}}{220\text{ V}}\right)^2 \times 0.2\Omega = 413.2\text{ W} = 0.4132\text{ kW}$

\therefore কর্মদক্ষতা $= \frac{10}{10 + 0.4132} = 0.96 = 96\%$.

● তাপ-তড়িৎ ● (Thermo-Electricity)

1.8. সীবেক ক্রিয়া (Seebeck effect) :

দুটি বিভিন্ন ধাতুর দণ্ড বা তারকে পারস্পরিক দুই প্রান্তে ঝালাই করে একটি সংহত বর্তনী গঠন করলে এবং সংযোগস্থল দুটিকে বিভিন্ন তাপমাত্রায় রাখলে দেখা যায় যে বর্তনী দিয়ে একটি তড়িৎ প্রবাহ যাচ্ছে। এই তড়িৎ প্রবাহ প্রমাণ করে যে, বর্তনীতে একটি তড়িচ্চালক বল ক্রিয়া করছে। এই তড়িচ্চালক বলের উৎপত্তির কারণ হল দণ্ডদ্বয়ের সংযোগস্থলের তাপমাত্রার পার্থক্য।



1.8 নং চিত্রে একটি তামার দণ্ড এবং একটি লোহার দণ্ডকে A এবং B প্রান্তে ঝালাই করে একটি সংহত বর্তনী দেখানো হয়েছে। ঐ বর্তনীর মধ্যে একটি সুবেদী গ্যালভানোমিটার G যুক্ত করা হয়েছে; এখন বর্তনীর B প্রান্তকে স্পিরিট ল্যাম্প বা বার্নারের সাহায্যে উত্তপ্ত করলে এবং A প্রান্তকে শীতল রাখলে দেখা যাবে যে গ্যালভানোমিটার কাঁটার একটি বিক্ষেপ হয়েছে— অর্থাৎ বর্তনী দিয়ে নির্দিষ্ট অভিমুখে তড়িৎ প্রবাহ চলছে। যদি A প্রান্ত উত্তপ্ত করে B প্রান্তকে শীতল রাখা হয়, তবে বিক্ষেপ উল্টো দিকে হয়— অর্থাৎ তড়িৎ প্রবাহের অভিমুখ উল্টে যায়।

কোনো তড়িৎ কোশের সাহায্য ছাড়া কেবলমাত্র তাপীয় ক্রিয়ায় কোনো বর্তনীতে তড়িৎ প্রবাহ সৃষ্টির এই ঘটনাকে তাপ-তড়িৎ ঘটনা বলে। এটি সর্বপ্রথম আবিষ্কার করেন জার্মান পদার্থবিদ টি. জে. সীবেক 1821 খ্রিস্টাব্দে। এই কারণে একে সীবেক ক্রিয়া বলে। উপরিউক্ত প্রক্রিয়ায় বর্তনীতে যে তড়িৎ প্রবাহ পাওয়া যায় তাকে বলা হয় তাপ-তড়িৎ প্রবাহ (thermo-electric current)।

4.8 নং চিত্রে প্রদর্শিত তামা ও লোহার বেলায় দেখা যায় তাপ-তড়িৎ প্রবাহ শীতল প্রান্তে লোহা হতে তামাতে এবং উষ্ণ প্রান্তে তামা হতে লোহাতে প্রবাহিত হয়। তাপ-তড়িৎ ক্রিয়া সর্বতোভাবে প্রত্যাবর্তক (reversible)— অর্থাৎ শীতল ও উষ্ণ সংযোগ উল্টে দিলে, তাপ-তড়িৎ প্রবাহের অভিমুখও উল্টে যায়। তাপ-তড়িৎ প্রবাহযুক্ত ধাতুযুগ্মকে তাপ-যুগ্ম (thermo-couple) বলা হয় এবং যে দুই ধাতু দ্বারা ঐ তাপযুগ্ম গঠিত তাদের নামানুসারেই তাদের নামকরণ করা হয়। যেমন, তামা-লোহা তাপযুগ্ম; অ্যান্টিমনি-বিসমাথ তাপযুগ্ম ইত্যাদি। তাপযুগ্মের দুই সংযোগস্থলে তাপমাত্রার ব্যবধান ঘটালে বর্তনীতে যে তড়িচ্চালক বলের উৎপত্তি হয় তাকে তাপীয় তড়িচ্চালক বল (thermo-e. m. f.) বলা হয়।

বলা বাহুল্য, তাপযুগ্মের দুই সংযোগস্থলের তাপমাত্রা যদি সমান থাকে তবে কোনো তড়িচ্চালক বল বা তড়িৎ প্রবাহের উৎপত্তি হয় না।

1.9. তাপ-তড়িৎ সারণি (Thermo-electric series) :

পরীক্ষা করে দেখা গেছে যে, তাপযুগ্মে উৎপন্ন তাপীয় তড়িচ্চালক বল দুটি বিষয়ের ওপর নির্ভর করে: (i) তাপযুগ্ম গঠনকারী ধাতুযুগল এবং (ii) দুই সংযোগস্থলের তাপমাত্রার ব্যবধান। বিভিন্ন ধাতু নিয়ে সীবেক এই ঘটনার পর্যালোচনা করেন এবং যে-কোনো দুটি ধাতুর বেলায় তাপ-তড়িৎ প্রবাহ তথা তড়িচ্চালক বল কোন্ অভিমুখে ক্রিয়া করবে তা দ্রুত নির্ণয় করার জন্য ধাতব পদার্থগুলির একটি সারণি প্রস্তুত করেন। এই সারণিকে বলা হয় তাপ-তড়িৎ সারণি। পরপৃষ্ঠায় এই সারণির উল্লেখ করা হল। এই সারণির যে-কোনো দুটি ধাতু নিলে ঐ তাপযুগ্মে শীতলপ্রান্ত দিয়ে ক্রমিক সংখ্যা অনুযায়ী

প্রথম ধাতু হতে দ্বিতীয় ধাতুতে তড়িৎ প্রবাহ হবে।

- | | |
|-----------------|---------------------|
| (i) অ্যান্টিমনি | (v) তামা |
| (ii) লোহা | (vi) নিকেল |
| (iii) দস্তা | (vii) কনস্ট্যান্টান |
| (iv) সিসা | (viii) বিসমাথ |

যেমন অ্যান্টিমনি এবং বিসমাথ ধাতু নিয়ে তাপযুগ্ম তৈরি করলে, ঐ তাপ যুগ্মের শীতল সংযোগ দিয়ে অ্যান্টিমনি হতে বিসমাথে তড়িৎ-প্রবাহ হবে; কারণ সারণিতে ক্রমিক সংখ্যায় অ্যান্টিমনির স্থান প্রথমে এবং বিসমাথের স্থান পরে। তেমনি, তামা-লৌহ যুগ্মে উল্ল সংযোগ দিয়ে তামা হতে লোহাতে তড়িৎপ্রবাহ হবে।

1.10.

তাপমাত্রা-তড়িচ্চালক বল সম্পর্ক (Temperature- E. M. F. relation) :

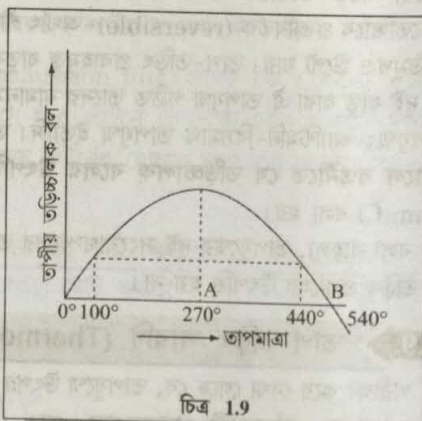
তাপযুগ্মের শীতল সংযোগস্থল 0°C তাপমাত্রায় রেখে উল্ল সংযোগস্থলের তাপমাত্রা ক্রমশ যদি বৃদ্ধি করা যায় তবে তাপীয় তড়িচ্চালক বলও ধীরে ধীরে বৃদ্ধি পায়। তাপমাত্রার ব্যবধান যতক্ষণ ক্ষুদ্র থাকে ততক্ষণ তাপীয় তড়িচ্চালক বল তাপমাত্রার সমানুপাতে বৃদ্ধি পায় কিন্তু ব্যবধান বেড়ে গেলে, তড়িচ্চালক বল কিছুক্ষণ বৃদ্ধি পেয়ে উল্ল সংযোগস্থলের এক বিশেষ তাপমাত্রায় সর্বোচ্চ মান পায়। উল্ল সংযোগস্থলের ঐ বিশেষ তাপমাত্রাকে বলা হয় নিরপেক্ষ তাপমাত্রা (neutral temperature)। লক্ষ্য কর যে, নিরপেক্ষ তাপমাত্রায় (t_n) তাপমাত্রার সাথে তাপীয় তড়িচ্চালক বলের পরিবর্তন শূন্য হয়।

অর্থাৎ, $\frac{dE}{dt} = 0$ হয় যখন উল্ল সংযোগের তাপমাত্রা $= t_n$.

সংজ্ঞা : কোনো তাপযুগ্মের এক সংযোগস্থল শীতল রেখে অপর সংযোগস্থলের তাপমাত্রা বৃদ্ধি করলে উল্ল সংযোগস্থলের যে-তাপমাত্রায় তাপীয় তড়িচ্চালক বল অথবা তাপ-তড়িৎ প্রবাহ সর্বোচ্চ হয় তাকে ঐ তাপযুগ্মের নিরপেক্ষ তাপমাত্রা বলা হয়।

কোনো একটি বিশেষ যুগ্মের বেলায় এই তাপমাত্রা ধ্রুবক। এটা যুগ্মের ধাতব পদার্থ যুগলের ওপর নির্ভর করে কিন্তু শীতল সংযোগস্থলের তাপমাত্রার ওপর নির্ভর করে না। যেমন, লোহা-তামা তাপযুগ্মের নিরপেক্ষ তাপমাত্রা 270°C —শীতল সংযোগস্থলের তাপমাত্রা যাই হোক না কেন।

তাপযুগ্মের উল্ল সংযোগস্থলের তাপমাত্রা যদি নিরপেক্ষ তাপমাত্রা ছাড়িয়ে আরও বৃদ্ধি করা যায় তবে দেখা যায় যে তাপীয় তড়িচ্চালক বল এবার হ্রাস পাচ্ছে এবং সংযোগস্থলের আর একটি বিশেষ তাপমাত্রায় তড়িচ্চালক বল শূন্য হয়। উল্ল সংযোগস্থলের এই তাপমাত্রাকে বলা হয় উৎক্রম তাপমাত্রা (temperature of inversion)।



চিত্র 1.9

সংজ্ঞা : তাপযুগ্মের উল্ল সংযোগস্থলের যে তাপমাত্রায় তাপীয় তড়িচ্চালক বল সর্বোচ্চ মান থেকে হ্রাস পেয়ে শূন্য হয় এবং অভিমুখ উল্টে যাবার উপক্রম করে, তাকে তাপযুগ্মের উৎক্রম তাপমাত্রা বলে।

তাপমাত্রার সাথে তাপীয় তড়িচ্চালক বলের উত্তর পরিবর্তন লেখচিত্রের সাহায্যে প্রকাশ করলে লেখচিত্র 1.9 নং চিত্রে যেমন দেখানো হয়েছে এরূপ একটি অধিবৃত্ত হবে। ঐ লেখচিত্রের A বিন্দু লোহা-তামা তাপযুগ্মের নিরপেক্ষ তাপমাত্রা (270°C) এবং B বিন্দু উৎক্রম তাপমাত্রা (540°C) বোঝায় (যখন তাপযুগ্মের শীতলপ্রান্ত 0°C তাপমাত্রায় আছে।)

এস্থলে উল্লেখযোগ্য যে, উৎক্রম তাপমাত্রা ধ্রুবক নয়; এটা শীতল সংযোগ তাপমাত্রার ওপর নির্ভর করে। তাপযুগ্মের শীতল সংযোগের তাপমাত্রা নিরপেক্ষ তাপমাত্রার যত নিম্নে উৎক্রম তাপমাত্রা নিরপেক্ষ তাপমাত্রার ঠিক তত উর্ধ্বে। শীতল সংযোগের তাপমাত্রা 0°C হলে, উৎক্রম তাপমাত্রা 540°C কিন্তু শীতল সংযোগের তাপমাত্রা 100°C রাখলে, উৎক্রম তাপমাত্রা হবে 440°C (চিত্র 1.9)।

সাধারণভাবে ধরো, শীতল সংযোগের তাপমাত্রা = θ_1 ; নিরপেক্ষ তাপমাত্রা = θ_n এবং উৎক্রম তাপমাত্রা = θ_2 .

$$\text{তাহলে, } \theta_n - \theta_1 = \theta_2 - \theta_n \text{ অথবা, } \theta_n = \frac{\theta_1 + \theta_2}{2}$$

তাহাড়া, উল্লেখযোগ্য যে, উষ্ণ সংযোগস্থলের তাপমাত্রা বৃদ্ধি করে উৎক্রম তাপমাত্রা ছাড়িয়ে গেলে তাপযুগ্মের তাপীয় তড়িচ্চালক বল আবার বৃদ্ধি পেতে থাকে কিন্তু অভিমুখ উল্টে যায় (চিত্র নং 1.9)।

শীতল প্রান্তের উষ্ণতা যদি 0°C না হয় অন্য কিছু হয় (ধর, 100°C), তাহলে তাপীয় তড়িচ্চালক বল উপরোক্ত তাপমাত্রা-তড়িচ্চালক বল লেখচিত্র (চিত্র 1.9) হতেই পাওয়া যাবে; কেবলমাত্র লেখচিত্রের মূলবিন্দুটিকে 0°C হতে সরিয়ে 100°C বিন্দুতে আনতে হবে। অন্যভাবে বললে বলা যায় তাপমাত্রা অক্ষ কাটা-কাটা রেখা বরাবর থাকবে। এতে নিরপেক্ষ তাপমাত্রার কোনোরূপ পরিবর্তন হয় না; কিন্তু উৎক্রম তাপমাত্রা 540°C থেকে পরিবর্তিত হয়ে 440°C হয়।

কোনো তাপযুগ্মের শীতল প্রান্তের তাপমাত্রা 0°C এবং উষ্ণ প্রান্তের তাপমাত্রা θ °C হলে, তাপমাত্রা এবং তড়িচ্চালক বলের সম্পর্ক নিম্নলিখিতভাবে প্রকাশ করা যায় :

$E = a\theta + b\theta^2$; এস্থলে, E = উৎপন্ন তড়িচ্চালক বল; a, b = তাপযুগ্মের ধ্রুবরাশি; θ = দুই সংযোগস্থলের তাপমাত্রার পার্থক্য (সেলসিয়াস স্কেলে)। এই সমীকরণটি অধিবৃত্তের (parabola) গাণিতিক সমীকরণ বলে তড়িচ্চালক বল (E) এবং তাপমাত্রার (θ) লেখ আঁকলে, তা একটি অধিবৃত্ত হয় (চিত্র 1.9)।

তাপযুগ্মের ওপর নির্ভর করে a এবং b পজিটিভ বা নেগেটিভ হতে পারে।

1.11 → তাপ-তড়িৎ ক্ষমতা (Thermoelectric power) :

কোনো তাপযুগ্মের উষ্ণ সংযোগস্থলের উষ্ণতা (θ) পরিবর্তনের সঙ্গে তাপ-তড়িচ্চালক বলের (E) পরিবর্তনের হার-কে ওই তাপযুগ্মের তাপ-তড়িৎ ক্ষমতা বলে।

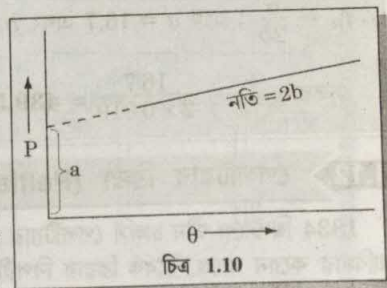
$$\text{অর্থাৎ তাপ-তড়িৎ ক্ষমতা } P = \frac{dE}{d\theta}$$

[θ = উষ্ণ সংযোগের তাপমাত্রা]

তাপযুগ্মের তাপীয় তড়িচ্চালক বলের সমীকরণ $E = a\theta + b\theta^2$ নিলে

$$P = \frac{dE}{d\theta} = a + 2b\theta$$

এটি সরলরেখার সমীকরণ বলে তাপ-তড়িৎ ক্ষমতা ও তাপমাত্রার লেখচিত্র ($P-\theta$) একটি সরলরেখা হয় (চিত্র নং 1.10)। এই রেখাকে তাপ-তড়িৎ ক্ষমতা রেখা বলা হয়। P -অক্ষের সাথে ঐ সরলরেখার ছেদ (intercept)



* এই সমীকরণের বিভিন্ন রূপ আছে। যেমন $E = a\theta + \frac{1}{2}b\theta^2$;

$\log E = a \log \theta + b$ ইত্যাদি।

ধ্রুবক a -এর সমান এবং সরলরেখার নতি ধ্রুবক $2b$ -এর সমান।

● a এবং b ধ্রুবকের সাপেক্ষে নিরপেক্ষ তাপমাত্রা (θ_n) এবং উৎক্রম তাপমাত্রা (θ_1):

আমরা দেখেছি $\frac{dE}{d\theta} = a + 2b\theta$

যখন, $\theta = \theta_n$ তখন E সর্বাধিক মান পায়। অতএব, $\theta = \theta_n$ হলে $\frac{dE}{d\theta} = 0$

অর্থাৎ $a + 2b\theta_n = 0 \quad \therefore \theta_n = -\frac{a}{2b} \dots \dots (i)$

আবার, যখন $\theta = \theta_i$ (উৎক্রম তাপমাত্রা) তখন $E = 0$

অতএব, $a\theta_i + b\theta_i^2 = 0$

অথবা $\theta_i (a + b\theta_i) = 0$

$\therefore a + b\theta_i = 0$ [θ_i শূন্য হতে পারে না]

$\therefore \theta_i = -\frac{a}{b} \dots \dots (ii)$

(i) এবং (ii) নং সমীকরণ হতে পাই $\theta_i = -2 \cdot \left(\frac{a}{2b}\right) = 2\theta_n$

অর্থাৎ উৎক্রম তাপমাত্রা = $2 \times$ নিরপেক্ষ তাপমাত্রা।

□ EXAMPLES □

1. একটি তাপযুগ্মের শীতল প্রান্তের তাপমাত্রা 2.8°C এবং উৎক্রম তাপমাত্রা 572.2°C ; এ তাপযুগ্মের নিরপেক্ষ তাপমাত্রা কত ?

উঃ। শীতল সংযোগের তাপমাত্রা θ_1 , এবং উৎক্রম তাপমাত্রা θ_2 হলে নিরপেক্ষ তাপমাত্রা

$\theta_n = \frac{\theta_1 + \theta_2}{2}$ । এখানে, $\theta_1 = 2.8^\circ\text{C}$; $\theta_2 = 572.2^\circ\text{C}$

অতএব, $\theta_n = \frac{2.8 + 572.2}{2} = 287.5^\circ\text{C}$ ।

2. একটি তাপ-বিদ্যুৎ যুগ্মে একটি সংযোগ 0°C ও অপর সংযোগ $t^\circ\text{C}$ উষ্ণতায় থাকলে উৎপন্ন তাপ-বিদ্যুৎ তড়িচ্চালক বলের পরিমাণ হয় $16.7t - 0.019t^2 \mu\text{V}$ । এই যুগ্মটির নিরপেক্ষ উষ্ণতা নির্ণয় করো।

উঃ। প্রদত্ত তাপ-বিদ্যুৎ যুগ্মে তাপীয় তড়িচ্চালক বল $E = at - bt^2$ ।

এক্ষেত্রে, $\frac{dE}{dt} = a - 2bt$ । নিরপেক্ষ উষ্ণতা t_n -এ $\frac{dE}{dt} = 0$; অতএব, $0 = a - 2b.t_n$;

$\therefore t_n = \frac{a}{2b}$; প্রক্ষে $a = 16.7$ এবং $b = 0.019$;

সুতরাং, $t_n = \frac{16.7}{2 \times 0.019} = 439.5^\circ\text{C}$ (প্রায়)।

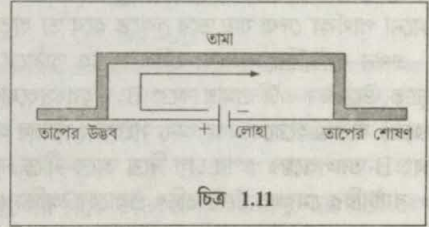
1.12 ▶ পেলটিয়ার ক্রিয়া (Peltier effect):

1834 খ্রিস্টাব্দে জীন চার্লস পেলটিয়ার নামে একজন ফরাসি বিজ্ঞানী আর একটি তাপ-তড়িৎ ক্রিয়া আবিষ্কার করেন যাকে সীবেক ক্রিয়ার বিপরীত ঘটনা বলা যেতে পারে। তিনি দেখতে পান যে-কোনো তাপযুগ্মের সংযোগের (junction) ভিতর দিয়ে ব্যাটারির সাহায্যে তড়িৎ প্রবাহ পাঠালে প্রবাহের অভিমুখ অনুসারে এক সংযোগে তাপ শোষিত হয় এবং অন্য সংযোগে তাপ উদ্ধৃত হয়—অর্থাৎ সংযোগে দুটিতে

তাপমাত্রার ব্যবধান সৃষ্টি হয়। একে পেলটিয়ার ক্রিয়া বলে।

পেলটিয়ার ক্রিয়া এবং সীবেক ক্রিয়া একই তাপযুগ্মের বেলায় বিচার করলে এই দুই ক্রিয়ার বৈপরীত্য পরিষ্কার বোঝা যাবে। পূর্বের লোহা-তামা তাপযুগ্মের কথা বিবেচনা করা যাক।

সীবেক ক্রিয়ায় আমরা দেখেছি যে ঐ তাপযুগ্মের এক সংযোগ উষ্ণ এবং অপর সংযোগ শীতল করলে তড়িৎ প্রবাহ শীতলপ্রান্তে লোহা হতে তামাতে প্রবাহিত হয়। (চিত্র নং 1.9)। এখন, তাপযুগ্মের উভয় সংযোগে একই তাপমাত্রায় রেখে একটি ব্যাটারির (চিত্র নং 1.11) সাহায্যে সীবেক প্রবাহের অভিমুখে যদি তড়িৎ প্রবাহ পাঠানো যায় তবে সীবেক ক্রিয়ার বেলায় যে সংযোগস্থল উষ্ণ ছিল এবার সেই সংযোগস্থল তাপের শোষণ হবে অর্থাৎ, সেই সংযোগস্থল শীতল হবে এবং অন্য সংযোগস্থল তাপের উদ্ভব হবে অর্থাৎ সেই সংযোগ উষ্ণ হবে। লোহা-তামা যুগ্মের বেলায় যে সংযোগস্থল ব্যাটারি প্রদত্ত প্রবাহ লোহা হতে তামাতে যাবে সেই সংযোগস্থল উত্তপ্ত হবে এবং অপর সংযোগস্থল শীতল হবে। যদি ব্যাটারির মেরু পরিবর্তন করে প্রবাহের অভিমুখ উল্টে দেওয়া যায়, তবে সংযোগস্থল দুটিতে পেলটিয়ার ক্রিয়াও উল্টে যায়।



চিত্র 1.11

এই তাপ-তড়িৎ প্রক্রিয়া দুটি পর্যালোচনা করে আমরা নিম্নলিখিত সিদ্ধান্তগুলি করতে পারি :

(i) কোনো তাপ-যুগ্মের দুই সংযোগস্থলে তাপমাত্রার পার্থক্য সৃষ্টি করে বর্তনীতে তড়িৎ প্রবাহের উৎপত্তি হল সীবেক ক্রিয়া ; কিন্তু বর্তনী দিয়ে ব্যাটারির সাহায্যে তড়িৎ প্রবাহ পাঠিয়ে দুই সংযোগস্থলের তাপমাত্রার পার্থক্য সৃষ্টি করা হল পেলটিয়ার ক্রিয়া। অতএব, এই দুটি প্রক্রিয়া পরস্পরের বিপরীত।

(ii) তাপযুগ্মের দুই সংযোগস্থলের তাপমাত্রার পার্থক্য সৃষ্টি করলে, তাপ-তড়িৎ প্রবাহের অভিমুখ এরূপ হয় যে প্রবাহ শীতল প্রান্তকে উত্তপ্ত এবং উত্তপ্ত প্রান্তকে শীতল করার চেষ্টা করে।

(iii) উভয় প্রক্রিয়াই প্রত্যাবর্তক (reversible)।

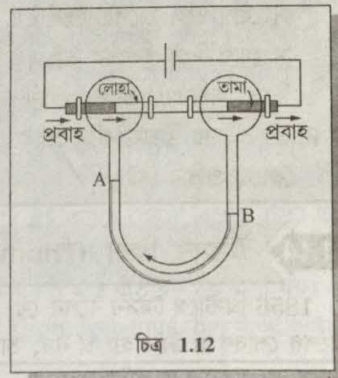
● পেলটিয়ার গুণাঙ্ক (Peltier coefficient) :

তাপযুগ্মের সংযোগ দিয়ে এক সেকেন্ডে একক মাত্রার তড়িৎ প্রবাহ গেলে (অর্থাৎ একক পরিমাণ তড়িৎপ্রধান অতিক্রম করলে) যে পরিমাণ কার্য সম্পন্ন হয়, সেই পরিমাণ কার্যকে ঐ সংযোগের পেলটিয়ার গুণাঙ্ক বলে। একে π প্রতীক দ্বারা প্রকাশ করা হয়। π -এর মান সংযোগের উষ্ণতা এবং তাপযুগ্মে ব্যবহৃত ধাতুদ্বয়ের প্রকৃতির ওপর নির্ভর করে। সংযোগ দিয়ে t সেকেন্ডে i অ্যাম্পিয়ার প্রবাহের দরুন প্রবাহের অভিমুখ অনুযায়ী উদ্ভূত তাপের পরিমাণ হবে $\pm nit$ জুল। A এবং B ধাতু যুগলের বেলায় π ধনাত্মক বা ঋণাত্মক হবে যদি তড়িৎ-প্রবাহ A ধাতু হতে B ধাতুতে গেলে সংযোগে তাপ শোষিত হয়। সংযোগে তাপের উদ্ভব হলে, ঐ সংযোগের π ঋণাত্মক বা নেগেটিভ হবে।

ধরে, একটি সংযোগের পেলটিয়ার গুণাঙ্ক $= \pi$ এবং ঐ সংযোগ দিয়ে q কুলম্ব তড়িৎপ্রধান অতিক্রম করে। তাহলে শেষিত অথবা উদ্ভূত শক্তি $= \pi q$ জুল। যদি ঐ সংযোগের পেলটিয়ার তড়িচ্চালক বল E ভোল্ট হয়, তবে $\pi q = E \cdot q$ অথবা $\pi = E$ ।

● পেলটিয়ার ক্রিয়ার পরীক্ষামূলক প্রদর্শন (Experimental demonstration of Peltier effect) :

নিম্নলিখিত পরীক্ষার সাহায্যে পেলটিয়ার ক্রিয়া প্রদর্শন করানো যেতে পারে। দুটি মোটা তামার দণ্ডের মাঝখানে একটি অনুবৃত্ত মোটা লোহার দণ্ড ঝালাই করা আছে ; এতে তামা-লোহার দুটি সংযোগ পাওয়া যাবে। ঐ সংযোগস্থল দুটিকে 1.12 নং চিত্রে প্রদর্শিত ব্যবস্থা অনুযায়ী একটি বায়ু থার্মোমিটারের দুটি কাচের



চিত্র 1.12

কুণ্ডের মধ্যে প্রবেশ করাও। একটি কাচের U-নলের দুই মুখে দুটি কুণ্ড যুক্ত করে ঐ থার্মোমিটার তৈরি করা হয়। U-নলে কিছু তরল পদার্থ থাকে। একটি ব্যাটারির সাহায্যে সংযোগ দুটির ভিতর দিয়ে তড়িৎ প্রবাহ পাঠাবার ব্যবস্থা করা হল যাতে একটি কুণ্ডে প্রবাহ তামা থেকে লোহাতে প্রবেশ করলে অন্য কুণ্ডে লোহা থেকে তামাতে প্রবেশ করে। এই ব্যবস্থার ফলে জুল-প্রবাহের দরুন যে তাপের উৎপত্তি হবে তা দুই কুণ্ডেই সমান হবে এবং তাতে U-নলের দুই বাহুর তরলস্তরের কোনো পার্থক্য হবে না। তাছাড়া দৃষ্টদৃশ্য মোটা হওয়াতে এমনভাবেই জুল-প্রবাহের দরুন তাপ খুব সামান্য হবে। ফলে যদি লেভেলদায়ের কোনো পার্থক্য দেখা যায় তবে বুঝতে হবে তা ধাতু দুটির সংযোগস্থলে তাপ-তড়িৎ ক্রিয়ার দরুনই হয়েছে।

এখন ব্যাটারির সাহায্যে তড়িৎ প্রবাহ পাঠালে দেখা যাবে যে, A বাহুতে তরলস্তম্ভ B বাহু অপেক্ষা উঁচুতে উঠেছে। এটা প্রমাণ করে B বাহুর সংযোগ (যেখানে তড়িৎ প্রবাহ লোহা হতে তামাতে প্রবেশ করছে) উত্তপ্ত হয়েছে এবং অন্য সংযোগ শীতল হয়েছে কারণ ঐ কুণ্ডের বায়ু উত্তপ্ত হয়ে প্রসারিত হয়েছে এবং B তরলস্তম্ভের ওপর চাপ দিয়ে তাকে নীচে নামিয়ে দিয়েছে। ফলে, A বাহুর তরলস্তম্ভ উর্ধ্বে উঠেছে।

ব্যাটারির মেয়দায় উল্টে তড়িৎ প্রবাহের অভিমুখ উল্টে দিলে, A বাহুর তরলস্তম্ভ নীচে নেমে যাবে এবং B বাহুর তরলস্তম্ভ উঁচুতে উঠবে। এটা নিঃসন্দেহে প্রমাণ করে যে পেলটিয়ার ক্রিয়া প্রত্যাবর্তক (reversible)।

1.13. পেলটিয়ার ক্রিয়া এবং জুল ক্রিয়ার পার্থক্য (Distinction between Peltier effect and Joule effect) :

পেলটিয়ার এবং জুল—উভয় ক্রিয়া তড়িৎ প্রবাহের দ্বারা তাপের উৎপত্তির সাথে সম্পর্কযুক্ত হলেও, এই দুই ক্রিয়া সম্পূর্ণ ভিন্ন। এদের মধ্যে নিম্নলিখিত পার্থক্য উল্লেখযোগ্য :

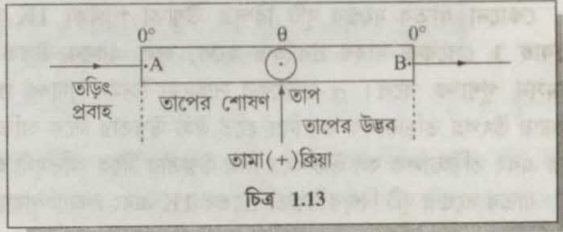
পেলটিয়ার ক্রিয়া	জুল ক্রিয়া
1. এক সংযোগে তাপের উদ্ভব এবং অপর সংযোগে তাপের শোষণ হয়।	জুল ক্রিয়ার শুধু তাপের উদ্ভব হয়।
2. সংযোগস্থলে উদ্ভূত বা শোষিত তাপ প্রবাহমাত্রার (i) সমানুপাতিক।	উদ্ভূত তাপ প্রবাহমাত্রার বর্গের (i^2) সমানুপাতিক।
3. তাপের উদ্ভব বা শোষণ দুটি ভিন্ন ধাতুর তারের সংযোগস্থলে সীমাবদ্ধ।	তারের সর্বত্র তাপের উদ্ভব হয়।
4. পেলটিয়ার ক্রিয়া প্রত্যাবর্তক।	জুল ক্রিয়া অপ্রত্যাবর্তক।
5. পেলটিয়ার ক্রিয়া প্রবাহের অভিমুখের ওপর নির্ভরশীল। কোনো এক সংযোগ দিয়ে প্রবাহ এক অভিমুখে পাঠালে যদি সংযোগস্থলে তাপের উদ্ভব হয়, তবে ঐ সংযোগ দিয়ে প্রবাহের অভিমুখ উল্টে দিলে, সংযোগে তাপের শোষণ হয়।	জুল ক্রিয়া প্রবাহের অভিমুখের ওপর নির্ভরশীল নয়। প্রবাহের অভিমুখ যাই হোক না কেন, পরিবাহীতে সর্বদা তাপের উদ্ভব হয়।
6. পেলটিয়ার ক্রিয়ায় পরিবাহীর রোধের কোনো প্রভাব নেই।	জুল ক্রিয়া পরিবাহীর রোধের ওপর নির্ভরশীল।

*1.14. টমসন ক্রিয়া (Thomson effect) :

1856 খ্রিস্টাব্দে টমসন বলেন যে, কোনো তাপযুগ্মে তড়িৎ-প্রবাহ গেলে শুধু যে তার দুই সংযোগে তাপের শোষণ ও উদ্ভব হয় তা নয়, তাপযুগ্মের যে-কোনো ধাতব দণ্ডের দৈর্ঘ্য বরাবর অথবা দুই ধাতব

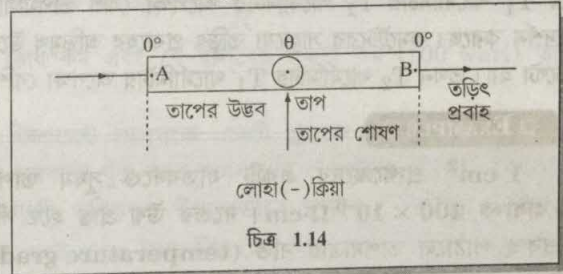
দণ্ডেরই দৈর্ঘ্য বরাবর তাপের শোষণ বা উদ্ভব হয়, কারণ প্রতিটি দণ্ডের দুই প্রান্তের তাপমাত্রা সমান নয়। অর্থাৎ অসমভাবে উত্তপ্ত পরিবাহীতে তড়িৎ প্রবাহ হলে দণ্ড বরাবর সর্বত্র তাপের শোষণ অথবা উদ্ভব হবে। একেই টমসন ক্রিয়া বলে। তিনি আরও বলেছেন যে, এই ক্রিয়া প্রত্যাবর্তক।

ব্যাখ্যা : ধরো, একটি মোটা তামার দণ্ড AB নিয়ে তার মধ্যস্থল O উত্তপ্ত



করা হল এবং প্রান্তদ্বয়কে বরফের (0°C) তাপমাত্রায় রাখা হল (চিত্র নং 1.13)। যদি দণ্ড দিয়ে কোনো তড়িৎ-প্রবাহ না যায় তবে ধাতুর পরিবাহিতার জন্য তাপ সমভাবে দৈর্ঘ্য বরাবর দুই প্রান্তের দিকে ছড়িয়ে পড়বে এবং O বিন্দু হতে দণ্ডের দুই অর্ধে সমদূরবর্তী দুই বিন্দু A এবং B-এর তাপমাত্রা সমান হবে। কিন্তু দণ্ড বরাবর যদি তিরচিহ্নের দিকে অর্থাৎ A হতে B-এর দিকে তড়িৎ প্রবাহ পাঠানো যায় তবে দেখা যায় যে A বিন্দুর তাপমাত্রা B বিন্দুর তাপমাত্রা অপেক্ষা কম হয়েছে অর্থাৎ A হতে O পর্যন্ত (যে অঞ্চলে তড়িৎ প্রবাহ নিম্ন উষ্ণতা বিন্দু হতে উচ্চ উষ্ণতা বিন্দুতে যাচ্ছে) দণ্ড বরাবর তাপের শোষণ এবং O হতে B পর্যন্ত (যে অঞ্চলে তড়িৎ প্রবাহ উচ্চ উষ্ণতা বিন্দু হতে নিম্ন উষ্ণতা বিন্দুতে যাচ্ছে) তাপের উদ্ভব হয়েছে। একে পজিটিভ টমসন ক্রিয়া বলা হয়। তামার ন্যায় দস্তা, রূপা, অ্যান্টিমনি, ক্যাডমিয়াম প্রভৃতি ধাতুতেও পজিটিভ টমসন ক্রিয়া দেখা যায়। সুতরাং পজিটিভ টমসন ক্রিয়া বলতে আমরা বুঝি যে কোনো সমসত্ত্ব ধাতবদণ্ডে যখন তড়িৎ প্রবাহ দণ্ডের নিম্ন তাপমাত্রা বিন্দু থেকে উচ্চ তাপমাত্রা বিন্দু অভিমুখে যায় তখন তাপের শোষণ হয় এবং উচ্চ তাপমাত্রা বিন্দু হতে নিম্ন তাপমাত্রা বিন্দুর দিকে গেলে তাপের উদ্ভব হয়। বলা বাহুল্য, তড়িৎ প্রবাহের অভিমুখ উল্টে দিলে টমসন ক্রিয়াও উল্টো হবে।

এবার একটি মোটা লৌহদণ্ডের কথা বিবেচনা করা যাক। অনুরূপভাবে দণ্ডের মধ্যস্থল O উত্তপ্ত করে এবং প্রান্তদ্বয় শীতল রেখে তিরচিহ্নের দিকে (অর্থাৎ A হতে B-এর দিকে) তড়িৎ-প্রবাহ পাঠালে দেখা যাবে যে A বিন্দুর তাপমাত্রা B বিন্দু অপেক্ষা বেশি হয়েছে (চিত্র 1.14) অর্থাৎ এবার A হতে O পর্যন্ত তাপের উদ্ভব এবং O হতে B পর্যন্ত তাপের শোষণ হয়েছে। একে নেগেটিভ টমসন ক্রিয়া বলে।



লৌহার ন্যায় প্লাটিনাম, কোবাল্ট, বিসমথ, নিকেল প্রভৃতি ধাতুতেও নেগেটিভ টমসন ক্রিয়া দেখা যায়। সুতরাং নেগেটিভ টমসন ক্রিয়া বলতে আমরা বুঝি যে, কোনো সমসত্ত্ব ধাতবদণ্ডে যখন তড়িৎ প্রবাহ দণ্ডের নিম্ন তাপমাত্রা বিন্দু হতে উচ্চ তাপমাত্রা বিন্দু অভিমুখে যায় তখন তাপের উদ্ভব হয় এবং উচ্চ তাপমাত্রা বিন্দু হতে নিম্ন তাপমাত্রা বিন্দুর দিকে গেলে তাপের শোষণ হয়। এক্ষেত্রেও তড়িৎ-প্রবাহের অভিমুখে উল্টে দিলে ক্রিয়াও উল্টো হবে।

(i) একথা উল্লেখযোগ্য যে, সিসাতে কোনো টমসন ক্রিয়া হয় না। একটি সিসা দণ্ড নিয়ে তার মধ্যস্থল উত্তপ্ত করলে এবং শীতল প্রান্ত হতে উত্তপ্ত প্রান্তের দিকে বা উত্তপ্ত প্রান্ত হতে শীতল প্রান্তের দিকে তড়িৎ-প্রবাহ পাঠালে কোনো তাপের উদ্ভব বা শোষণ হয় না। এই কারণে কোনো বিশেষ ধাতুর তাপ তড়িৎ বৈশিষ্ট্য পর্যালোচনার জন্য সর্বদা ঐ ধাতু এবং সিসা নিয়ে তাপযুগ্ম তৈরি করা হয়।

(ii) তিনটি তাপ-তড়িৎ ক্রিয়ার মধ্যে একমাত্র টমসন ক্রিয়াতে একটি মাত্র ধাতু ব্যবহার করা হয়। এই কারণে টমসন ক্রিয়াকে অনেক সময় সমসত্ত্ব তাপ-তড়িৎ ক্রিয়া (homogeneous thermoelectric effect) বলা হয়।

● টমসন গুণাঙ্ক (Thomson coefficient) :

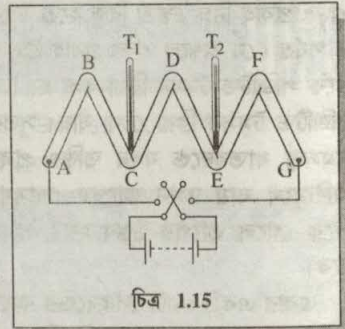
কোনো ধাতব দণ্ডের দুটি বিন্দুর উষ্ণতা-পার্থক্য $1K$ হলে এবং দণ্ড দিয়ে 1 অ্যাম্পিয়ার প্রবাহ 1 সেকেন্ড যাবৎ প্রবাহিত হলে, জুল এককে উদ্ভূত অথবা শোষিত তাপের পরিমাণকে টমসন গুণাঙ্ক বলে। σ -প্রতীকের সাহায্যে টমসন গুণাঙ্ক প্রকাশ করা হয়। কোনো ধাতুতে টমসন ক্রিয়ায় উৎপন্ন তড়িচ্চালক বল নিম্ন হতে উচ্চ উষ্ণতার দিকে অভিমুখী হলে, σ ধনাত্মক বা পজিটিভ ধরা হয় এবং তড়িচ্চালক বল উচ্চ হতে নিম্ন উষ্ণতার দিকে অভিমুখী হলে, σ ঋণাত্মক বা নেগেটিভ ধরা হয়।

ধাতব দণ্ডের দুটি বিন্দুর উষ্ণতা প্রভেদ $1K$ এবং i অ্যাম্পিয়ার তড়িৎ প্রবাহ t সেকেন্ড যাবৎ প্রবাহিত হলে, উদ্ভূত বা শোষিত তাপের পরিমাণ হবে $\pm \sigma it$ জুল।

উক্ত বিন্দুদ্বয়ের ভিতর টমসন তড়িচ্চালক বল E ভোল্ট হলে,

$$\sigma it = E.it \text{ অথবা } \sigma = E$$

● টমসন ক্রিয়ার পরীক্ষামূলক প্রদর্শন (Experimental demonstration of Thomson effect) : একটি মোটা লোহার পাতকে আঁকাবাঁকাভাবে ঝাঁকিয়ে 1.15 নং চিত্রে যেখন দেখানো হয়েছে ঐরূপ আকৃতি দেওয়া হল। পাতের দুই মুক্ত প্রান্ত A এবং G একটি কমুটের-এর মাধ্যমে ব্যাটারির সাথে যুক্ত আছে। D বিন্দুকে উত্তপ্ত করা হল এবং B ও F বিন্দুদ্বয়কে সমানভাবে শীতল রাখা হল। C এবং E বিন্দুতে গর্ত করে দুটি থার্মোমিটার T_1 এবং T_2 ঢুকানো আছে। তড়িৎ প্রবাহ পাঠাবার আগে পরিবহনের দরুন তাপ উভয়দিকে সমভাবে বাহিত হবে এবং থার্মোমিটার T_1 এবং T_2 সমান তাপমাত্রা প্রদর্শন করবে।



এখন A হতে G অভিমুখে তড়িৎ প্রবাহ পাঠালে দেখা যাবে যে T_1 থার্মোমিটার T_2 থার্মোমিটার অপেক্ষা বেশি তাপমাত্রা প্রদর্শন করছে। কমুটেরের সাহায্যে তড়িৎ প্রবাহের অভিমুখ উল্টে G হতে A অভিমুখী করলে ক্রিয়াও উল্টো হয়। তখন T_2 থার্মোমিটার T_1 থার্মোমিটার অপেক্ষা বেশি তাপমাত্রা প্রদর্শন করে।

□ EXAMPLE □

1 cm^2 প্রস্থচ্ছেদের একটি ধাতবদণ্ডে সুষম তাপমাত্রার নতি 1°Ccm^{-1} । ধাতুর রোধাঙ্ক $200 \times 10^{-6} \Omega\text{-cm}$ । দণ্ডের উষ্ণ প্রান্ত হতে শীতল প্রান্তের দিকে $0.05A$ তড়িৎ প্রবাহ পাঠালে তাপমাত্রার নতি (temperature gradient) অপরিবর্তিত থাকে। ধাতুর টমসন গুণাঙ্ক নির্ণয় করো।

উঃ। তড়িৎ প্রবাহ পাঠালে, দণ্ডের তাপমাত্রার নতি অপরিবর্তিত থাকে—এটা বোঝায় যে জুল ক্রিয়ার জন্য যে তাপ উদ্ভূত হচ্ছে টমসন ক্রিয়ার জন্য দণ্ড বরাবর ঠিক সেই তাপ শোষিত হচ্ছে। এখন,

$$1 \text{ cm দীর্ঘ দণ্ডের রোধ } R = \frac{\text{রোধাঙ্ক} \times \text{দৈর্ঘ্য}}{\text{প্রস্থচ্ছেদ}} = \frac{200 \times 10^{-6} \times 1}{1} = 200 \times 10^{-6} \Omega$$

দণ্ডের যে দুই বিন্দুর ভিতর তাপমাত্রার পার্থক্য 1°C তাদের ভিতর বিভবপ্রভেদ $V =$ প্রবাহমাত্রা \times রোধ $= 0.05 \times 200 \times 10^{-6} \text{ volt} = 10^{-5} V$ ।

টমসন গুণাঙ্কের সংজ্ঞা অনুযায়ী 1°C তাপমাত্রা পার্থক্যযুক্ত দুই বিন্দুর ভিতর বিভবপার্থক্য সংখ্যাগত ভাবে (numerically) টমসন গুণাঙ্কের সমান। এতএব,

$$\text{ধাতুর টমসন গুণাঙ্ক } \sigma = 10^{-5} \text{ joule}^\circ\text{C}^{-1}.$$

এই পরিচ্ছেদের বিষয়বস্তু সম্পর্কে কয়েকটি প্রশ্ন
(Some typical problems of this chapter)

1. ক্ষমতা সম্পর্কিত $P = I^2 \cdot R$ সমীকরণ হতে মনে হয় যে, কোনো পরিবাহীতে উৎপন্ন তাপের হার তার রোধের সমানুপাতিক; আবার $P = \frac{E^2}{R}$ সমীকরণ হতে মনে হয় যে, উৎপন্ন তাপের হার রোধের ব্যস্তানুপাতিক; এই পরস্পর বিরোধী উক্তিকে কীভাবে ব্যাখ্যা করা যায়?

● পরিবাহীতে উৎপন্ন তাপের হার নির্ভর করে পরিবাহীতে বৈদ্যুতিক কার্য (electric work) সম্পন্ন করার হারের ওপর। পরিবাহীর বিভবপ্রভেদ E এবং প্রবাহমাত্রা I হলে, বৈদ্যুতিক কার্যের হার অথবা ক্ষমতা $= E \cdot I$ । এখন, পরিবাহীর রোধ R হলে, $E = I \cdot R$; অতএব, ক্ষমতা $P = I^2 \cdot R$ ।

আবার, $I = \frac{E}{R}$ বলে ক্ষমতা $P = \frac{E}{R} \times E = \frac{E^2}{R}$ কাজেই, উভয় সমীকরণ একই পরিমাণ কার্যের হার বা ক্ষমতা বুঝায়। প্রথম ক্ষেত্রে, প্রবাহমাত্রা (I) অপরিবর্তিত রাখলে, বিভবপ্রভেদ E পরিবাহীর রোধের (R) সমানুপাতিক বলে, ক্ষমতা অর্থাৎ তাপ উৎপন্নের হার রোধের সমানুপাতিক হয় এবং দ্বিতীয় ক্ষেত্রে বিভবপ্রভেদ (E) অপরিবর্তিত রাখলে, পরিবাহীর প্রবাহমাত্রা রোধের ব্যস্তানুপাতিক বলে তাপ উৎপন্নের হার রোধের ব্যস্তানুপাতিক হয়।

2. দুটি বৈদ্যুতিক বাল্বের ক্ষমতা যথাক্রমে 500 watt এবং 100 watt; একই বিভবপ্রভেদে কাজ করলে, কোন্ বাল্বের ফিলামেন্টের রোধ বেশি হবে?

● ক্ষমতা $P = \frac{E^2}{R}$; বিভবপ্রভেদ E সমান থাকলে, $P \propto \frac{1}{R}$ সুতরাং যে-বাল্বের ক্ষমতা বেশি (500 watt) তার ফিলামেন্টের রোধ কম এবং যে-বাল্বের ক্ষমতা কম (100 watt) তার ফিলামেন্ট রোধ বেশি।

3. একটি 220V - 60W কার্বন ফিলামেন্ট বাল্বকে একটি 220V - 60W ধাতু নির্মিত ফিলামেন্ট বাল্বের সাথে শ্রেণি সমবায়ে যুক্ত করে সমবায়ের প্রান্তদ্বয়কে 220V মেইনের সাথে যুক্ত করা হল। কোন্ বাল্বটি অধিকতর উজ্জ্বলভাবে জ্বলবে?—ব্যাখ্যা করো।

● বাল্ব দুটি শ্রেণি সমবায়ে যুক্ত বলে একই প্রবাহ উভয় ফিলামেন্ট দিয়ে যাবে। এখন, বাল্ব দুটির ফিলামেন্ট রোধ যদি R_1 এবং R_2 হয় তবে প্রথমটিতে তাপ উৎপন্নের হার $= i^2 R_1$ এবং দ্বিতীয়টিতে $= i^2 R_2$; যেহেতু উভয়ের ক্ষমতা 60W, শীতল অবস্থায় উভয় ফিলামেন্টের রোধ সমান অর্থাৎ $R_1 = R_2$ কিন্তু প্রজ্জ্বলিত অবস্থায় কার্বন ফিলামেন্টের রোধ (R_1) ধাতব ফিলামেন্টে রোধ (R_2) অপেক্ষা কম অর্থাৎ $R_1 < R_2$; এই কারণে সুইচ অন করার পর কিছু সময় দুটি বাতিই সমান উজ্জ্বলভাবে জ্বলবে কিন্তু পরে ধাতব ফিলামেন্ট বাল্ব অধিকতর উজ্জ্বলভাবে জ্বলবে।

4. 20 Ω বিশিষ্ট একটি রোধ নষ্ট না হয়ে সর্বোচ্চ 2 kW পর্যন্ত ক্ষমতা তাপের মাধ্যমে উৎপন্ন করতে পারে। এই রোধটিকে কী উপেক্ষণীয় অভ্যন্তরীণ রোধবিশিষ্ট একটি 300 V ডি.সি. উৎসের দুই প্রান্তের সাথে সরাসরি যুক্ত করবে?

● 300 V ডি.সি. উৎসের সাথে সরাসরি যুক্ত করলে রোধের ভিতর দিয়ে তড়িৎ প্রবাহ $I = \frac{300}{20} = 15A$ । এই অবস্থায় রোধ যে ক্ষমতা উৎপন্ন করবে তা $=$ ভোল্ট \times প্রবাহ $= 300 \times 15 = 4500 W = 4.5 kW$ যেহেতু রোধটি নষ্ট না হয়ে সর্বোচ্চ 2 kW পর্যন্ত ক্ষমতা উৎপন্ন করতে

পারে, সেইহেতু একে 300 V ডি.সি. উৎসের সাথে সরাসরি যুক্ত করা যাবে না ; যুক্ত করলে নষ্ট হয়ে যাবে।

5. 25 W-110 V এবং 100 W-110 V এরূপ দুটি বাতিকে 220 V সরবরাহের সাথে শ্রেণি সমবায়ে যুক্ত করা হল। দুটি বাতিই কী জ্বলবে ?

● 25 W বাতির রোধ $R_1 = \frac{V^2}{P} = \frac{(110)^2}{25} = 484 \Omega$; অনুরূপভাবে 100 W বাতির রোধ $R_2 = \frac{(110)^2}{100} = 121 \Omega$ ।

25 W বাতি সর্বাধিক যে প্রবাহ নেয় তা $i_1 = \frac{P}{V} = \frac{25}{110} = 0.227 A$; অনুরূপভাবে 100 W বাতি

সর্বাধিক যে প্রবাহ নেয় তা $i_2 = \frac{P}{V} = \frac{100}{110} = 0.909 A$

এখন, বাতি দুটিকে 220 V সরবরাহ লাইনে শ্রেণি সমবায়ে যুক্ত করলে দুটি বাতিতেই একই প্রবাহ যাবে। এই প্রবাহ $i = \frac{220}{\text{মোট রোধ}} = \frac{220}{484 + 121} = 0.364 A$

যেহেতু $i > i_1$ এবং $i < i_2$ তাই 25 W বাতিটি নষ্ট হয়ে যাবে এবং 100 W বাতিতে কোনো প্রবাহ যাবে না। তাই বাতি দুটি জ্বলবে না।

6. একটি তাপযুগ্মে শীতল প্রান্তের তাপমাত্রা হ্রাস হলে (i) নিরপেক্ষ তাপমাত্রা এবং (ii) উৎক্রম তাপমাত্রার কী পরিবর্তন হবে ?

(i) নিরপেক্ষ তাপমাত্রা শীতল প্রান্তের উষ্ণতার ওপর নির্ভর করে না বলে শীতল প্রান্তের তাপমাত্রা হ্রাস করা হলে নিরপেক্ষ তাপমাত্রা কোনো পরিবর্তন হবে না।

(ii) তাপযুগ্মের শীতল প্রান্তের নিরপেক্ষ তাপমাত্রা যত নিম্নে, উৎক্রম তাপমাত্রা নিরপেক্ষ তাপমাত্রার ঠিক তত উর্ধ্বে। এখন শীতল প্রান্তের তাপমাত্রা উষ্ণতা হ্রাস করলে, নিরপেক্ষ উষ্ণতার সাথে শীতল প্রান্তের উষ্ণতার ব্যবধান বৃদ্ধি পাবে ; ফলে উৎক্রম তাপমাত্রার সাথে নিরপেক্ষ তাপমাত্রার ব্যবধানও বৃদ্ধি পাবে। যেহেতু নিরপেক্ষ তাপমাত্রা অপরিবর্তিত থাকে তাই উৎক্রম তাপমাত্রা পূর্বাপেক্ষা বেশি হবে।

7. তাপযুগ্ম দ্বারা নিরপেক্ষ তাপমাত্রার বেশি তাপমাত্রা মাপা উচিত নয়। কেন ?

● তাপমাত্রা ও তাপীয় তড়িচ্চালক বলের লেখচিত্র হতে দেখা যায় নিরপেক্ষ তাপমাত্রার উর্ধ্বে গেলে একই তাপীয় তড়িচ্চালক বলের আনুষঙ্গিক দুটি ভিন্ন তাপমাত্রা পাওয়া যায়। ফলে কোন্ তাপমাত্রা নির্ণয়ে তাপমাত্রার মান তা স্থির করতে বিভ্রম উপস্থিত হয়।

8. একই উপাদানে তৈরি দুটি উত্তাপক কুণ্ডলী A এবং B মেইলের সাথে সমান্তরাল সমবায়ে যুক্ত আছে। A কুণ্ডলীর তারের দৈর্ঘ্য ও ব্যাস B কুণ্ডলীর তারের তুলনায় দ্বিগুণ। কোন্ তার বেশি তাপ উৎপন্ন করবে ?

● কোনো তারের রোধ $R = \rho \cdot \frac{l}{\alpha}$; $\alpha = \frac{\pi d^2}{4}$ এতএব, $R = \frac{4\rho l}{\pi d^2}$ এখন, A তারের দৈর্ঘ্য (l) ও ব্যাস (d) দ্বিগুণ বলে এই সমীকরণ অনুযায়ী A তারের রোধ, B তারের রোধের অর্ধেক। তার দুটি সমান্তরাল সমবায়ে থাকায়, কম রোধের তারে অর্থাৎ A তারে বেশি প্রবাহ যাবে এবং বেশি তাপ উৎপন্ন হবে।

9. 240 V – 100 W বৈদ্যুতিক বাল্বের ফিলামেন্ট 240 V – 1000 W বাল্বের ফিলামেন্ট থেকে সবু হবে না মোটা হবে ? ঐ দুটি বাল্বকে শ্রেণি সমবায়ে মেইনসের সাথে যুক্ত করলে কোন্টি বেশি উজ্জ্বল হয়ে আলো দেবে ?

● প্রথম বাল্বের প্রবাহমাত্রা $\frac{100}{240} \text{ A}$; অতএব, তার ফিলামেন্টের রোধ = $\frac{240}{100/240} = 576 \Omega$ ।

দ্বিতীয় বাল্বের প্রবাহমাত্রা $\frac{1000}{240} \text{ A}$; অতএব, তার ফিলামেন্ট রোধ = $\frac{240}{1000/240} = 57.6 \Omega$

প্রথম বাল্বের রোধ বেশি হওয়ায় বোঝা যায় প্রথম বাল্বের ফিলামেন্ট সরু হবে।

বাল্ব দুটি শ্রেণি সমবায়ে যুক্ত বলে, একই প্রবাহ উভয়ের ভিতর দিয়ে যাবে। কিন্তু প্রথম বাল্বের রোধ বেশি বলে, তার ফিলামেন্ট বেশি উত্তপ্ত হবে এবং বেশি উজ্জ্বল হয়ে আলো দেবে।

10. বিজলী বাতির ফিলামেন্টের ভিতর দিয়ে এবং লাইন তার দিয়ে একই প্রবাহমাত্রা যায়; কিন্তু ফিলামেন্ট খুব উত্তপ্ত হয়ে আলো দেয় আর লাইন তার মোটেও উত্তপ্ত হয় না। কেন?

● বিজলী বাতির ফিলামেন্ট উচ্চ রোধযুক্ত হয় কারণ ফিলামেন্ট খুব সরু তার দিয়ে তৈরি করা হয়। কিন্তু লাইন তার (সাধারণত তামার) বেশ মোটা হওয়ায় রোধ খুব নগণ্য হয়। যেহেতু একই প্রবাহমাত্রার জন্য উৎপন্ন তাপ পরিবাহীর রোধের সমানুপাতিক, তাই লাইন তার বিশেষ উত্তপ্ত হয় না, কিন্তু ফিলামেন্ট তার উচ্চ রোধের দরুন খুব উত্তপ্ত হয়ে আলো দেয়।

11. সমান দৈর্ঘ্য ও প্রস্থচ্ছেদবিশিষ্ট দুটি ভিন্ন উপাদানের তারকে একই বিভব পার্থক্যে রাখলে কোন তারে বেশি হারে তাপ উৎপন্ন হবে?

● উপাদান ভিন্ন হওয়ায়, দৈর্ঘ্য ও প্রস্থচ্ছেদ সমান হওয়া সত্ত্বেও তার দুটির রোধ সমান হবে না। আবার বিভব পার্থক্য সমান থাকলে, তাপ উৎপন্নের হার রোধের ব্যস্তানুপাতিক হয়। অতএব যে-তারের রোধ বেশি সেই তারে কম হারে তাপ উৎপন্ন হবে এবং যে তারের রোধ কম সেই তারে বেশি হারে তাপ উৎপন্ন হবে।

12. একটি তামার তার ও অনুরূপ একটি লোহার তারকে একটি স্টোরেজ কোশের সাথে প্রথমে সমান্তরাল সমবায়ে ও পরে শ্রেণি সমবায়ে যুক্ত করা হল। প্রথম ক্ষেত্রে তামার তারটি এবং দ্বিতীয় ক্ষেত্রেও লোহার তারটি বেশি উত্তপ্ত হল। কেন?

● তামার তারের রোধ অনুরূপ একটি লোহার তারের রোধ অপেক্ষা কম। সমান্তরাল সমবায়ে থাকার সময় উভয়ের প্রান্তীয় বিভব প্রভেদ সমান। প্রান্তীয় বিভব প্রভেদ সমান থাকলে, উৎপন্ন তাপ রোধের ব্যস্তানুপাতিক। তাই কম রোধযুক্ত তামার তার বেশি উত্তপ্ত হবে।

শ্রেণি সমবায়ে থাকার সময়, উভয় তারে একই প্রবাহমাত্রা যাবে। প্রবাহমাত্রা সমান থাকলে, উৎপন্ন তাপ রোধের সমানুপাতিক হয়। তাই, এবার বেশি রোধযুক্ত লোহার তার বেশি উত্তপ্ত হবে।

13. একটি বৈদ্যুতিক ইন্সটিতে অনির্দিষ্টকাল তড়িৎ প্রবাহের ফলে নিরবচ্ছিন্নভাবে তাপ উৎপন্ন হয়। কিন্তু কিছুক্ষণ পরে উষ্ণতা স্থির হয়ে যায়। এর কারণ কী?

● প্রথম প্রথম তড়িৎ প্রবাহের ফলে তাপ উৎপাদন হয়ে ইন্সটির উষ্ণতা বাড়তে থাকে। যত উষ্ণতা বাড়ে তত ইন্সটি তাপ বিকিরণ করতে থাকে। পরে এরকম এক অবস্থার উদ্ভব হয় যখন ইন্সটি যে-হারে তাপ লাভ করে ঠিক সেই হারে বিকিরণ পদ্ধতিতে তাপ ক্ষয় করে। তারপর আর ইন্সটির উষ্ণতা বাড়ে না; উষ্ণতা স্থির হয়ে যায়।

14. সকল প্রকার তাপযুগ্মের বেলাতেই কী নিরপেক্ষ তাপমাত্রা পাওয়া যায়?

● যেসব তাপযুগ্মের বেলায় a এবং b উভয়ই ধনাত্মক বা উভয়ই ঋণাত্মক, সেইসব তাপযুগ্মের বেলায় 0°C -এর উর্ধ্বে কোনো নিরপেক্ষ তাপমাত্রা বা উৎক্রম তাপমাত্রা পাওয়া যাবে না। যেমন সিসা-তামা তাপযুগ্ম বা সিসা-প্লাটিনাম তাপযুগ্ম।

15. A এবং B দুটি উত্তাপক উপাদানকে একই ধরনের সিলকরা কাচ নলের মধ্যে রেখে হিটার হিসাবে ব্যবহার করা হল। একই রকম দুটি ক্যালোরিমিটারে সমপরিমাণ জল নিয়ে তাদের ঐ জলে নিমজ্জিত রাখা হল। দেখা গেল যে শ্রেণি সমবায়ে আবদ্ধ থাকলে A উপাদান B উপাদান অপেক্ষা বেশি তাপ উৎপন্ন করছে কিন্তু সমান্তরাল সমবায়ে থাকলে B উপাদান A উপাদান অপেক্ষা বেশি তাপ উৎপন্ন করছে। অথচ মিটার ব্রীজের সাহায্যে A এবং B উপাদানের রোধ মেপে দেখা গেল তারা সমান। এই ঘটনার ব্যাখ্যা কী?

- এরূপ ঘটনা ঘটতে পারে যদি A উপাদানের রোধের তাপমাত্রা গুণাঙ্ক B উপাদান অপেক্ষা বেশি হয়। যদি A উপাদানের রোধের তাপমাত্রা গুণাঙ্ক α হয়, তবে $R_t = R_0 (1 + \alpha.t)$; শ্রেণি সমবায়ে $H_A = i^2 R_{At}$ এবং $H_B = i^2 R_{Bt}$; যেহেতু $R_A > R_B$ তাই $H_A > H_B$ অর্থাৎ A উপাদান বেশি উত্তপ্ত

হবে। সমান্তরাল সমবায়ে $H_A = R_A.t \left(\frac{R_B}{R_A + R_B} . i \right)^2$ এবং $H_B = R_B.t \left(\frac{R_A}{R_A + R_B} . i \right)^2$

যেহেতু $R_A > R_B$ তাই $H_B > H_A$ অর্থাৎ B উপাদান বেশি উত্তপ্ত হবে। আবার ঘরের তাপমাত্রায় $R_A = R_B$ হওয়ায়, মিটার ব্রীজ পরিমাপে সমান রোধ পাওয়া যাবে।

16. একটি উত্তাপক তারে তড়িৎ-প্রবাহ পাঠিয়ে উত্তপ্ত করা হল। অতঃপর তারের দৈর্ঘ্যের অর্ধেক ঠান্ডা জলে নিমজ্জিত রাখা হল। তারের কোন্ অর্ধ এই অবস্থায় আরও উত্তপ্ত হবে?

- জলের বাইরে তারের অংশ বেশি উত্তপ্ত বলে, সেই অংশের রোধ বেশি। তাছাড়া তারের দুই অর্ধেই সমান প্রবাহমাত্রা আছে। কাজেই জলে নিমজ্জিত অংশ অপেক্ষা জলের বাইরে তারের অংশ আরও বেশি উত্তপ্ত হবে।

17. একটি 60 W বাল্বকে রুম হিটারের সাথে সমান্তরাল রেখে মেইনসের সাথে যুক্ত করা হল। পরে 60 W বাল্ব-কে বদলে 100 W বাল্ব আনা হল। এবার রুম হিটার কি বেশি না কম তাপ উৎপন্ন করবে?

- ধরি, মেইনসের ভোল্টেজ = V ; 60 W বাল্বের রোধ $R_{60} = \frac{V}{60/V} = \frac{V^2}{60} \Omega$

আবার, 100 W বাল্বের রোধ $R_{100} = \frac{V^2}{100} \Omega$ । এতএব, $R_{60} > R_{100}$

এখন, 60 W বাতির পরিবর্তে 100 W বাতি লাগালে, যেহেতু $R_{100} < R_{60}$ বেশি প্রবাহ R_{100} রোধের ভিতর দিয়ে যাবে এবং কম প্রবাহ হিটারে যাবে। ফলে হিটারে তাপ উৎপাদন কমে যাবে।

* প্রশ্নাবলি *

→ রচনাধর্মী প্রশ্ন

1. তড়িৎ প্রবাহের দরুন উৎপন্ন তাপ সংক্রান্ত জুলের সূত্র প্রতিষ্ঠা করো।
2. তাপ সংক্রান্ত জুলের সূত্রগুলি লেখো ও ব্যাখ্যা করো।
3. জুল সূত্র বিবৃত করো এবং ঐ সূত্রের পরীক্ষামূলক প্রমাণ করো। প্রতিক্ষেত্রে পরিষ্কার চিত্র আঁকো।
4. তাপের যান্ত্রিক তুল্যাঙ্ক নির্ণয়ের বৈদ্যুতিক পদ্ধতিটি বর্ণনা করো।
5. প্রমাণ করো যে, কয়েকটি পরিবাহী শ্রেণি সমবায়ে থাকলে তাদের প্রত্যেকটিতে তাপ উৎপন্নের হার পরিবাহীর রোধের সমানুপাতিক কিন্তু সমান্তরাল সমবায়ে থাকলে, তাপ উৎপন্নের হার পরিবাহীর রোধের ব্যস্তানুপাতিক হয়।
6. একই উপাদান এবং একই দৈর্ঘ্যযুক্ত দুটি উত্তাপক তারের একটি সরু এবং অপরটি মোটা। প্রথমে শ্রেণি সমবায়ে এবং পরে সমান্তরাল সমবায়ে যুক্ত করে একই তড়িৎ উৎসের সাথে লাগানো হল। প্রমাণ করো, প্রথম ক্ষেত্রে সরু তারে এবং দ্বিতীয় ক্ষেত্রে মোটা তারে বেশি তাপ উৎপন্ন হবে।
7. একটি তাপযুগ্মের একটি সংযোগস্থল 0°C তাপমাত্রায় রেখে অপর সংযোগস্থলের তাপমাত্রা ধীরে ধীরে বর্ধিত

করলে উৎপন্ন তাপীয় তড়িচ্চালক বলের পরিবর্তন কি রকম হবে? লেখচিত্রের সাহায্যেও দেখাও।

8. সীবেক ক্রিয়া এবং পেলটিয়ার ক্রিয়ার ব্যাখ্যা করো। জুল ক্রিয়াজনিত তাপ এবং পেলটিয়ার ক্রিয়াজনিত তাপের মধ্যে পার্থক্য কী?
9. যখন কোনো ইলেকট্রিক সার্কিটের বিভিন্ন ব্রাঞ্চে বিদ্যুৎ প্রবাহ বিভাজিত হয় তখন এটা এমনভাবে ঘটে যাতে তাপ উৎপাদন সবচেয়ে কম হয়। প্রমাণ করো।
[Jt. Entrance 1992]
10. সীবেক ক্রিয়া, পেলটিয়ার ক্রিয়া এবং টমসন ক্রিয়া কাকে বলে? সীবেক ক্রিয়া এবং পেলটিয়ার ক্রিয়ার একটি করে ব্যবহারিক প্রয়োগ উল্লেখ করো।
11. পেলটিয়ার ক্রিয়া এবং টমসন ক্রিয়া প্রদর্শনের জন্য একটি করে পরিষ্কার বর্ণনা করো।
12. তাপমাত্রা এবং তাপ-তড়িচ্চালক বলের ভিতর একটি লেখ আছে এবং ঐ লেখ-তে নিরপেক্ষ তাপমাত্রা এবং উৎক্রম তাপমাত্রা প্রদর্শন করো।

সংক্ষিপ্ত উত্তরের প্রশ্ন

1. একটি তারের ভিতর দিয়ে কিছুক্ষণ যাবৎ তড়িৎ প্রবাহ চালনা করা হল। ঐ তারে উৎপন্ন তাপের পরিমাণ নিম্নোক্ত অনুঘটকগুলির ওপর কীভাবে নির্ভর করবে বলা : (i) তারের দৈর্ঘ্য, (ii) তারের প্রস্থচ্ছেদ, (iii) রোধাঙ্ক এবং (iv) তারের উভয় প্রান্তের বিভবপার্থক্য। প্রথম তিনটি ক্ষেত্রে বিভবপার্থক্য স্থির আছে ধরতে হবে।
2. একটি বৈদ্যুতিক বাল্বের দুইপ্রান্তে স্থিরমানের বিভব-প্রভেদ প্রয়োগ করলে প্রথমত তড়িৎ প্রবাহ সামান্য কমে যায় কিন্তু পরে স্থির মানের প্রবাহ পাওয়া যায়। ব্যাখ্যা করো।
3. জুলক্রিয়া ও পেলটিয়ার ক্রিয়ার পার্থক্য উল্লেখ করো।
4. (a) জুল, ওয়াট, কিলোওয়াট-ঘণ্টা কাকে বলে?
(b) B.O.T. এককের সংজ্ঞা দাও। দেখাও যে বিভবপার্থক্য এবং তড়িৎ প্রবাহের গুণফলের একক এবং ক্ষমতার একক একই।
5. একটি বৈদ্যুতিক বাতির গায়ে “220 ভোল্ট—60 ওয়াট” কথা লেখা আছে। এর তাৎপর্য কী? B.O.T. একক বলতে কী বোঝ?
6. কোনো তারের প্রান্তীয় বিভবপ্রভেদ স্থির থাকলে তাতে উৎপন্ন তাপের হার কীভাবে (i) তারের দৈর্ঘ্যের সাথে এবং (ii) প্রস্থচ্ছেদের সাথে পরিবর্তিত হয়?
7. (a) তাপযুগ্মের নিরপেক্ষ তাপমাত্রা এবং উৎক্রম তাপমাত্রা বলতে কী বোঝ?
(b) তাপীয় তড়িচ্চালক বলের সাথে উষ্ণতার লেখচিত্রে নিরপেক্ষ উষ্ণতা এবং উৎক্রম উষ্ণতা নির্দেশ করো। (শীতল সংযোগস্থল 0°C-এ আছে।)
8. একই উপাদানে তৈরি দুটি উত্তাপক কুণ্ডলী মেইনসের সাথে সমান্তরাল সমবায়ে যুক্ত আছে। একটি কুণ্ডলীর তারের দৈর্ঘ্য এবং ব্যাস অপর কুণ্ডলীর তারের তুলনায় দ্বিগুণ। কোনটি বেশি তাপ উৎপন্ন করবে?
9. 500 watt এবং 100 watt-এর দুটি বাতিকে 110 volt বিভবপ্রভেদে যুক্ত করা হল। কোন্ বাতির ফিলামেন্টের রোধ বেশি হবে?
10. 50 watt এবং 100 watt-এর দুটি বৈদ্যুতিক বাতি আছে। যখন তাদের মেইনসের সাথে (ক) শ্রেণি সমবায়ে এবং (খ) সমান্তরাল সমবায়ে লাগানো হবে তখন কোন্ বাতিটি উজ্জ্বলতর হয়ে আলো দিবে?
(সংকেত : সমান্তরাল সমবায়ে 100 watt বাতি এবং শ্রেণি সমবায়ে 50 watt বাতি উজ্জ্বলতর হবে। 50 watt বাতির রোধ 100 watt বাতি অপেক্ষা বেশি। শ্রেণি সমবায়ে উভয় বাতির ভিতর প্রবাহমাত্রা সমান হবে। এখন উজ্জ্বলতা $\propto i^2 R$ হওয়ায়, ঐ সমবায়ে, 50 watt বাতির উজ্জ্বলতা বেশি হবে। আবার, সমান্তরাল সমবায়ে, উভয়ের বিভবপ্রভেদ সমান হওয়ায়, 100 watt বাতিতে 50 watt বাতি অপেক্ষা বেশি প্রবাহ যাবে ; এতএব তার উজ্জ্বলতা বেশি হবে।)

অতিসংক্ষিপ্ত উত্তরের প্রশ্ন

1. তাপযুগ্ম কাকে বলে?
2. বাড়িতে বিদ্যুৎ সংযোগ ব্যবস্থায় আলো, পাখা ইত্যাদি কিরূপে সংযুক্ত থাকে—শ্রেণি সমবায়ে না সমান্তরাল সমবায়ে?
3. বাড়িতে বিদ্যুৎ সরবরাহের ক্ষেত্রে ইলেকট্রিক বিলে ব্যবহৃত বিদ্যুৎশক্তির একক কী?
4. একটি বৈদ্যুতিক বাল্বে 220V—100W দাগ কাটা আছে। বালবটিতে 150 অথবা অধিক ওয়াট দিলে বালবটি পুড়ে যায়। বালবটি কতটা ভোল্টেজ পরিবর্তন সহ্য করতে পারবে?
[Ans. 270 V পর্যন্ত]
5. তড়িৎশক্তি ও ক্ষমতার S.I. একক কী?
6. ঘরের দুটি বাল্বের মধ্যে একটি উজ্জ্বলতর আলো দেয়। কোনটির রোধ বেশী?

7. অ্যাম্পিয়ার, ভোল্ট এবং বি.ও.টি. এককের মধ্যে সম্পর্ক কি ?

8. থার্মোপাইল কি ?

9. পেলটিয়ার ক্রিয়া প্রদর্শনের জন্য তুমি সবু তার না মোটা তার ব্যবহার করবে ?

10. একটি ইলেকট্রিক কেটলিতে জল 15 মিনিটে ফুটতে শুরু করে। ঐ জলকে 10 মিনিটে ফোটাতে কেটলির কুন্ডলীর তারের দৈর্ঘ্য বাড়াবে না কমাবে ?

➔ বহুমুখী পছন্দের প্রশ্ন [Multiple choice type (MCQ)]

(A) নির্ভুল উত্তরটি ✓ চিহ্নিত করো :

[i] একটি ধাতব তারের দুই প্রান্তে স্থিরমানের ভোল্টেজ প্রয়োগ করা হল। তারে তাপের উদ্ভব হবে। তাপের পরিমাণ দ্বিগুণ হবে যদি—

(A) তারের দৈর্ঘ্য এবং ব্যাসার্ধ দুই-ই অর্ধেক করা হয়,

(B) তারের দৈর্ঘ্য ও ব্যাসার্ধ দুই-ই দ্বিগুণ করা হয়,

(C) কেবল ব্যাসার্ধ দ্বিগুণ করা হয়,

(D) কেবল দৈর্ঘ্য দ্বিগুণ করা হয়।

[ii] 200W বালব এবং 100W বালবের ফিলামেন্টের রোধ যথাক্রমে R_1 এবং R_2 । তারা একই ভোল্টেজে কাজ করলে, R_1 এবং R_2 এর অনুপাত হবে

(A) 1 : 2

(B) 2 : 1

(C) 1 : 4

(D) 4 : 1.

[iii] একটি স্টোরেজ ব্যাটারিতে প্রথমে R_1 বহিঃরোধ দ্বারা এবং পরে R_2 বহিঃরোধ দ্বারা সার্ট সার্কিট করা হল। ব্যাটারির অভ্যন্তরীণ রোধ R_0 -এর কি মান হলে, উভয়ক্ষেত্রে বহিঃরোধে উদ্ভূত তাপ সমান হবে ?

(A) $R_0 = R_1 R_2$

(B) $R_0 = R_1 \sqrt{R_2}$

(C) $R_0 = R_2 \sqrt{R_1}$

(D) $R_0 = \sqrt{R_1 R_2}$.

[iv] দুটি বালব সমান্তরাল সমবায়ে আবদ্ধ আছে। বালব A বালব B অপেক্ষা উজ্জ্বলতর আলো দেয়। যদি তাদের ফিলামেন্টের রোধ R_A এবং R_B হয় তবে—

(A) $R_A = R_B$

(B) $R_A > R_B$

(C) $R_A < R_B$

(D) কোনটাই না।

[v] একটি বৈদ্যুতিক কেটলির দুটি উত্তাপক কুন্ডলী আছে। একটিকে সুইচ অন করলে কেটলির জল 10 মিনিটে ফুটতে শুরু করে। দ্বিতীয় কুন্ডলীকে সুইচ অন করলে ঐ জল ফুটতে সময় নেয় 45 মিনিট। কুন্ডলী দুটিকে সমান্তরাল সমবায়ে যুক্ত করে ব্যবহার করলে ঐ একই পরিমাণ জল ফুটতে যে সময় নেবে তা—

(A) 6 মিনিট

(B) 12 মিনিট

(C) 18 মিনিট

(D) 24 মিনিট।

[vi] বরফে নিমজ্জিত একটি তার কুন্ডলী দিয়ে 10A প্রবাহ 210V বিভব প্রভেদে পাঠানো হল। প্রতি ঘন্টায় যে পরিমাণ বরফ গলবে তা—

(A) 0.84 kg

(B) 8.4 kg

(C) 84 kg

(D) 2.25 kg.

[vii] 40W, 60W এবং 100W ক্ষমতার তিনটি বৈদ্যুতিক বাতি 240 volt উৎসের সাথে শ্রেণি সমবায়ে লাগানো আছে। এক্ষেত্রে—

(A) 40W বাতির প্রাপ্তি বিস্তার-প্রভেদ হবে সর্বাধিক,

(B) 100W বাতির প্রবাহ মাত্রা হবে সর্বাধিক,

(C) 40W বাতির রোধ হবে সর্বাধিক,

(D) 60W বাতির প্রবাহমাত্রা 0.1A এর সামান্য কম।

[viii] 40W, 60W এবং 100W ক্ষমতার তিনটি বৈদ্যুতিক বাতি 220V মেইনস্-এর সঙ্গে শ্রেণিসমবায়ে লাগানো আছে। কোন বাতিটি সর্বাপেক্ষা উজ্জ্বল হবে ?

(A) 40W বাতি

(B) 60W বাতি

(C) 100W বাতি

(D) সবকটি সমান উজ্জ্বল হবে।

[ix] n সংখ্যক কোশ শ্রেণি সমবায়ে আবদ্ধ হয়ে তড়িৎপ্রবাহ পাঠাচ্ছে। প্রতিটি কোশের তড়িচ্চালক বল 1.5V এবং অভ্যন্তরীণ রোধ 0.25Ω । প্রবাহ একটি 12V, 24W টাংস্টেন ফিলামেন্ট বাতিতে গেলে n এর কি মান হলে বাতি তার নির্ধারিত ক্ষমতায় জ্বলবে ?

(A) 6

(B) 8

(C) 12

(D) 16.

[x] একই উপাদান এবং একই প্রস্থচ্ছেদের দুটি তার একটি তড়িৎবর্তনীতে যুক্ত আছে। তার দুটির ভর m এবং $2m$ । তার দুটির ভিতর দিয়ে I প্রবাহ গেলে, কোন নির্দিষ্ট সময়ে উদ্ভূত তাপের অনুপাত হবে—

- (A) 2 : 1 যখন তারা শ্রেণি সমবায়ে আবদ্ধ,
(B) 2 : 1 যখন তারা সমান্তরাল সমবায়ে আবদ্ধ,
(C) 1 : 2 যখন তারা সমান্তরাল সমবায়ে আবদ্ধ,
(D) 1 : 2 যখন তারা শ্রেণি সমবায়ে আবদ্ধ।

[xi] একটি সুম্ন তারের দুই প্রান্তে স্থির বিভব-প্রভেদ প্রয়োগ করা হল। তারের দৈর্ঘ্য এবং ব্যাসার্ধ দুই-ই দ্বিগুণ করলে—

- (A) তারে উদ্ভূত তাপের পরিমাণ দ্বিগুণ হবে,
(B) তারের দুই প্রান্তের ভিতর তড়িৎক্ষেত্র দ্বিগুণ হবে,
(C) উদ্ভূত তাপের পরিমানের কোন পরিবর্তন হবে না,
(D) তড়িৎক্ষেত্র অর্ধেক হবে।

[xii] অ্যান্টিমনি-বিসমাথ ধাতু যুগ্মের ক্ষেত্রে তাপ তড়িৎপ্রবাহ—

- (A) উষ্ণ সংযোগে অ্যান্টিমনি থেকে বিসমাথের দিকে যায়,
(B) শীতল সংযোগে অ্যান্টিমনি থেকে বিসমাথের দিকে যায়,
(C) শীতল সংযোগে বিসমাথ থেকে অ্যান্টিমনির দিকে,
(D) উষ্ণ সংযোগে বিসমাথ থেকে অ্যান্টিমনির দিকে।

[A.I.E.E.Exam. 2006]

[xiii] তোমাকে 50 cm লম্বা একটি তার এবং নগন্য রোধের একটি ব্যাটারি দেওয়া হল। কিরকম ব্যবস্থা করলে উৎপন্ন তাপ সর্বাপেক্ষা বেশী হবে ?

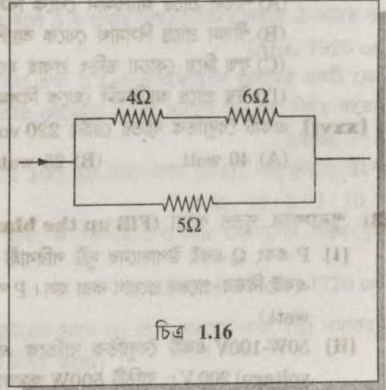
- (A) তারকে সরাসরি ব্যাটারির সাথে যুক্ত করলে,
(B) তারকে দুভাগে ভাগ করে দুভাগই ব্যাটারির সাথে সমান্তরালে লাগালে,
(C) তারকে চারভাগে ভাগ করে চারভাগই ব্যাটারির সাথে সমান্তরালে লাগালে,
(D) তারের অর্ধেক ব্যাটারির সঙ্গে লাগালে।

[xiv] 1.16 নং চিত্রে প্রদর্শিত বর্তনীতে কোন প্রবাহের দরুন 5Ω রোধে উৎপন্ন তাপ 10 cal/s ; 4Ω রোধে তাপ উৎপন্ন হবে—

- (A) 1 cal s⁻¹ (B) 2 cal s⁻¹ (C) 3 cal s⁻¹ (D) 4 cal s⁻¹।

[xv] জেনারেটরের সঙ্গে লাগালে R₁ রোধ P ক্ষমতা ব্যয় করে। R₁ এর সঙ্গে R₂ রোধ শ্রেণি সমবায়ে লাগালে, R₁ কর্তৃক ব্যয়িত ক্ষমতা—

- (A) হ্রাস পাবে,
(B) বৃদ্ধি পাবে,
(C) একই থাকবে,
(D) R₁ এবং R₂ এর মানের উপর নির্ভর করে যেকোন একটা হতে পারে।



[xvi] একটি তাপযুগ্মের এক সংযোগ 0°C এবং অপর সংযোগ t°C থাকলে, তাপীয় তড়িৎচালক বল $E = at + bt^2$ । যুগ্মের নিরপেক্ষ তাপমাত্রা—

- (A) $-\frac{a}{2b}$ (B) $\frac{2b}{a}$ (C) $\frac{a}{b}$ (D) $\frac{b}{a}$ ।

[xvii] শীতল সংযোগের তাপমাত্রা 0°C এরূপ কোন তাপযুগ্মের ক্ষেত্রে তাপীয় তড়িৎচালক বল $E = 2164t^2 - 6.2t^4 \mu V$ হবে, ওই তাপযুগ্মের নিরপেক্ষ ও উৎক্রম তাপমাত্রা হবে—

- (A) 174.5°C ; 349°C (B) 349°C ; 174.5°C
(C) 349°C ; 698°C (D) 698°C ; 349°C।

[xviii] 1kW-250V বাতির ফিলামেন্টের রোধ—

- (A) 125Ω (B) 62.5Ω (C) 0.625Ω (D) 0.125Ω।

[xix] একটি d.c. ভোল্টেজ সরবরাহ যন্ত্রের অভ্যন্তরীণ রোধ r Ω। সরবরাহের দুই প্রান্তে একটি রোধ R যুক্ত করা হল। R রোধে ক্ষমতা সর্বাধিক হবে যখন R-এর মান—

- (A) $\frac{1}{r}$ (B) \sqrt{r} (C) r (D) $\sqrt{2r}$ ।

[xx] একটি তারের প্রস্থচ্ছেদ 0.5 mm^2 এবং রোধাক $2.5 \times 10^{-7} \Omega\text{-m}$ । ওই তার দিয়ে 72 W ক্ষমতার একটি হিটার তৈরি করতে হবে। হিটার 12 V -এ কাজ করলে, তারের দৈর্ঘ্য হবে—

- (A) 4 cm (B) 40 cm (C) 4 m (D) 40 m .

[xxi] 220 volt – 100 watt একটি বৈদ্যুতিক বাতিকে 110 volt এক কাজ করালে যে ক্ষমতা গ্রহণ করবে তা
(A) 40 watt (B) 25 watt (C) 50 watt (D) 75 watt .

[xxii] যদি কোন তড়িৎবাহকে তড়িৎপ্রবাহ 0.5% হ্রাস পায় তবে বালবে ক্ষমতা হ্রাস পাবে প্রায়
(A) 0.25% (B) 0.5% (C) 2% (D) 10% . [Jt. Entrance 2006]

[xxiii] কোন একটি রোধক কুন্ডলীর উপর নির্দিষ্ট বিভব প্রভেদ আরোপ করলে প্রতি সেকেন্ডে W_1 তাপের উদ্ভব হয়। দ্বিতীয় একটি কুন্ডলীর ক্ষেত্রে ওই তাপ উদ্ভবের হারের মান W_2 । কুন্ডলী দুটিকে সমান্তরালে যুক্ত করলে ওই মান W এবং শ্রেণি সমবায়ে যুক্ত করলে ওই মান W' হয় যদি সমবায়ের দুপাশে ওই একই বিভব প্রভেদ আরোপ করা হয়। এক্ষেত্রে

$$(A) \frac{W'}{W} = \frac{W_1 + W_2}{\sqrt{W_1 W_2}}$$

$$(B) \frac{W'}{W} = \frac{W_1}{W_2} + \frac{W_2}{W_1}$$

$$(C) \frac{W'}{W} = \frac{(W_1 + W_2)^2}{W_1 W_2}$$

$$(D) \frac{W'}{W} = \frac{W_1 W_2}{(W_1 + W_2)^2} \quad [\text{Jt. Entrance 2006}]$$

[xxiv] একটি 220 volt 40 watt ল্যাম্পের রোধের মান কত ?

- (A) 1210Ω (B) 1000Ω (C) 800Ω (D) 500Ω .

[Jt. Entrance 2006]

[xxv] অ্যাণ্টিমনি এবং বিসমাথ ধাতু দিয়ে একটি তাপযুগ্ম গঠন করা হল। যদি যুগ্মের এক প্রান্ত উষ্ণ এবং অপর প্রান্ত শীতল রাখা হয় তবে, তড়িৎ প্রবাহ

- (A) শীতল প্রান্তে অ্যাণ্টিমনি থেকে বিসমাথে যাবে,
(B) শীতল প্রান্তে বিসমাথ থেকে অ্যাণ্টিমনিতে যাবে,
(C) যুগ্ম দিয়ে কোনো তড়িৎ প্রবাহ হবে না,
(D) উষ্ণ প্রান্তে অ্যাণ্টিমনি থেকে বিসমাথে যাবে।

[A.I.E.E. Entrance Exam. 2006]

[xxvi] একটি বৈদ্যুতিক বাতির রেটিং 220 volt – 100 watt । 110 volt লাইনে লাগালে বাতি যে ক্ষমতা নেবে তা

- (A) 40 watt (B) 25 watt (C) 50 watt (D) 75 watt .

[A.I.E.E. Entrance Exam. 2006]

(B) শূন্যস্থান পূরণ করো (Fill up the blanks) :

[i] P এবং Q একই উপাদানের দুটি পরিবাহী। P-এর দৈর্ঘ্য Q-এর দ্বিগুণ কিন্তু তাদের ভর সমান। উভয় পরিবাহীতে একই বিভব-প্রভেদ প্রয়োগ করা হল। P পরিবাহীতে 1 watt ক্ষমতা ব্যয়িত হলে Q পরিবাহীতে হবে _____ watt।

[ii] 50 W – 100 V একটি বৈদ্যুতিক বাতিকে এমন একটি বর্তনীতে লাগানো হল যার সরবরাহ ভোল্টেজ (supply voltage) 200 V । বাতিটি 500 W ক্ষমতা ব্যয় করতে পারে এরূপ করতে গেলে বাতির সঙ্গে শ্রেণি সমবায়ে যে রোধ যুক্ত করা দরকার তা _____ Ω ।

[iii] একটি 100 W এবং একটি 200 W বাতি 110 V এবং 220 V এক কাজ করছে। এদের রোধের অনুপাত হবে _____।

[iv] একটি সুখম পরিবাহী তারে স্থির ভোল্টেজ প্রয়োগ করলে তারে তাপের উদ্ভব হয়। তারের দৈর্ঘ্য দ্বিগুণ করলে, উৎপন্ন তাপ একই থাকবে যদি তারের প্রস্থচ্ছেদ _____ করা হয়।

[v] একটি বৈদ্যুতিক কেটলিতে দুটি একই রকম উত্তাপক কুন্ডলী আছে। একটি কুন্ডলীর সুইচ অন করলে কেটলির জল 4 মিনিটে ফুটে শুরু করে। দুটি কুন্ডলীর সুইচ এক সঙ্গে অন করলে সময় লাগে 16 মিনিট। কুন্ডলী দুটি অবশ্যই _____ সমবায়ে আবদ্ধ ছিল।

[vi] একটি তারের প্রাচীর বিভবপ্রভেদ V এবং প্রবাহমাত্রা I হলে t সময়ে তারে উদ্ভূত তাপের পরিমাণ $H =$ _____ ক্যালোরি।

(C) ভুল কি নির্ভুল বিচার করো (True or false type questions) :

[i] একটি সাধারণ 100 W বাতির রোধ 60 W বাতির রোধ অপেক্ষা কম।

[ii] বি.ও.টি. একক ক্ষমতার একক।

[iii] ভোল্টেজ স্থির থাকলে, সুখম তারে উৎপন্ন তাপ তারের দৈর্ঘ্যের ব্যস্তানুপাতে পরিবর্তন হয়।

- [iv] রোধ R -এর দুই প্রান্তে $2.5V$ তড়িচ্চালক বল এবং 0.5Ω অভ্যন্তরীণ রোধের একটি ব্যাটারি যুক্ত আছে। বর্তনীতে ক্ষমতা ব্যয় সর্বোচ্চ হবে যখন $R = 0.5W$
- [v] সম দৈর্ঘ্যের দুটি সুখম তার শ্রেণি সমবায়ে যুক্ত আছে। তার দুটির ভর m এবং $2m$ । তার দুটিতে তড়িৎপ্রবাহ গেলে, দ্বিতীয় তারটি বেশী উত্তপ্ত হবে।
- [vi] একটি তাপযুগ্মে যখন সর্বাধিক তাপীয় তড়িচ্চালক বল সৃষ্টি হয় তখন ঐ যুগ্মের উষ্ণ সংযোগের তাপমাত্রাকে উৎক্রম তাপমাত্রা বলে।

গাণিতিক প্রশ্ন

- 250 volt-এ যুক্ত থেকে 450 watt ক্ষমতা উৎপন্ন করতে পারে এরূপ একটি নাইক্রোম তার তৈরি করতে হবে। নাইক্রোম ফিতার প্রস্থ 1 mm এবং বেষ 0.05 mm হলে, ফিতার প্রয়োজনীয় দৈর্ঘ্য নির্ণয় করো। নাইক্রোমের রোধাঙ্ক $= 110 \times 10^{-6} \Omega\text{-cm}$.
[Ans. 6.3 m (প্রায়)]
- 10Ω রোধের ভিতর দিয়ে 1 mnt ব্যাপী 0.8 A তড়িৎ প্রবাহ গেলে কী পরিমাণ তাপ উৎপন্ন হবে?
[Ans. 71.4 cal (প্রায়)]
- জুলের বৈদ্যুতিক ক্যালোরিমিটারে 1.5 kg তেল (আ : তা : = 0.6) নেওয়া হল এবং 3Ω রোধের একটি কুণ্ডলী তার ভিতর নিমজ্জিত করে $3A$ তড়িৎ প্রবাহ উক্ত কুণ্ডলীর ভিতর দিয়ে পাঠানো হল। ক্যালোরিমিটারের তেলের তাপমাত্রা 10°C বৃদ্ধি করতে কত সময় যাবৎ উক্ত তড়িৎ প্রবাহ পাঠানো প্রয়োজন? ক্যালোরিমিটারে জলসম ও বিকিরণজনিত তাপক্ষয় নগণ্য ধরা যেতে পারে।
[Ans. 23 mnt 20s]
- 50Ω -এর একটি তারকুণ্ডলীকে $5V$ তড়িচ্চালক বলের একটি ব্যাটারির সঙ্গে যুক্ত করা হল। মনে করো উত্তৃত সব তাপ কুণ্ডলীর তাপমাত্রা বৃদ্ধির জন্য ব্যবহার করা হল। কুণ্ডলীর তাপগ্রাহিতা 6 J/K হলে 20°C উষ্ণতা বৃদ্ধির জন্য কত সময় লাগবে?
[Ans. 4 mnt]
- 10Ω তারের ভিতর দিয়ে 2 minute ব্যাপী $5A$ প্রবাহ গেল। উৎপন্ন তাপ সম্পূর্ণরূপে 100 g জলে সরবরাহ করা হল। জলের তাপমাত্রা বৃদ্ধি কত হবে?
[Ans. 72°C]
- একটি বৈদ্যুতিক হিটার 110 volt সরবরাহ লাইনের সাথে যুক্ত হলে $5A$ প্রবাহ নেয়। 1 মিনিট সময়ে ঐ হিটার কত ক্যালোরি তাপ উৎপন্ন করবে?
[Ans. 7920 cal]
- সমান্তরালভাবে সংযুক্ত দুটি তারের প্রান্তে 2 volt তড়িচ্চালক বল এবং 0.4 ohm অভ্যন্তরীণ রোধের একটি কোশ লাগানো হল। তার দুটির রোধ 3Ω এবং 7Ω হলে, তাতে প্রতি সেকেন্ডে উৎপন্ন তাপের অনুপাত নির্ণয় করো।
[Ans. 7 : 3]
- একটি প্রতিমিত হুইটস্টোন ব্রিজের চারটি বাহুর রোধ যথাক্রমে $100, 10, 500$ এবং 50Ω । বাহুগুলিতে উৎপন্ন তাপের তুলনা করো।
[Ans. 50 : 5 : 5 : 10]
- 40Ω এবং 60Ω -এর দুটি রোধক শ্রেণি সমবায়ে আবদ্ধ এবং ঐ সমবায় 200 volt মেইনসের সাথে যুক্ত।
 $\frac{1}{2}$ মিনিট সময় প্রতি রোধকে কত তাপ উৎপন্ন হবে?
[Ans. 1152 cal ; 1728 cal]
- 80Ω এবং 120Ω রোধের দুটি তারকে 100 V সরবরাহ লাইনের সাথে (i) শ্রেণি সমবায়ে এবং (ii) সমান্তরাল সমবায়ে যুক্ত করা হল। প্রতি ক্ষেত্রে তার কর্তৃক গৃহীত ক্ষমতা নির্ণয় করো।
[Ans. (i) 20 W, 30 W, (ii) 125 W, 83.3 W]
- 6Ω এবং 9Ω রোধের দুটি তারকে শ্রেণি সমবায়ে যুক্ত করে 5Ω রোধের আর একটি তারের সঙ্গে সমান্তরাল সমবায়ে আবদ্ধ করা হল। ঐ সমগ্র সময়কে আবার 2Ω রোধের আর একটি তারের সঙ্গে শ্রেণি সমবায়ে যুক্ত করা হল। তড়িৎ প্রবাহের ফলে 5Ω তারে প্রতি সেকেন্ডে 21 cal তাপ উৎপন্ন হলে 2Ω তারে তাপ উৎপন্নের হার কত?
[Ans. 14.93 cal s⁻¹]
- এক বৈদ্যুতিক চুম্বির বার্নার সমান রোধের তিনটি অংশ দ্বারা তৈরি। অংশ তিনটি সমান্তরাল সমবায়ে যুক্ত করলে একটি কেটলির জল 6 min-এ ফুটতে শুরু করে। যদি অংশগুলি শ্রেণি সমবায়ে যোগ করা হয় তাহলে ঐ কেটলিতে সমপরিমাণ জল কতক্ষণে ফুটতে শুরু করবে?
[Ans. 54 min]

$$[\text{সংকেত : } H_1 \propto \frac{V^2}{r/3}; H_2 \propto \frac{V^2}{3r}. \therefore \frac{H_1}{H_2} = \frac{9}{1} = \frac{t_2}{t_1} \therefore t_2 = 9t_1 = 54\text{ min}]$$

- একই উপাদানে গঠিত দুটি সুখম তারের প্রত্যেকটির ভর 1 g , তাদের একটির দৈর্ঘ্য অপরটির দ্বিগুণ। তারা শ্রেণি সমবায়ে যুক্ত এবং $10A$ তড়িৎ প্রবাহ তাদের ভিতর দিয়ে যাচ্ছে। দীর্ঘতর তারটির দৈর্ঘ্য 20 cm হলে, প্রত্যেকটির মধ্যে দিয়ে শক্তি প্রবাহের হার নির্ণয় করো। তাদের মধ্যে কোনটি বেশী উত্তপ্ত হবে? তারের উপাদানের ঘনত্ব ও রোধাঙ্ক 11 gcm^{-3} এবং $20 \times 10^{-4} \Omega\text{-cm}$.
[Ans. 880 Js⁻¹; 220 Js⁻¹]

[সংকেতঃ $1 = 10 \pi r_1^2 \times 11$ বা, $\pi r_1^2 = \frac{1}{10 \times 11} \therefore R_1 = 20 \times 10^{-4} \times (10)^2 \times 11 = 2.2 \text{ ohm}$.

দ্বিতীয় তারের বেলায়, $1 = 20 \pi r_2^2 \times 11$ or, $\pi r_2^2 = \frac{1}{20 \times 11} \therefore R_2 = 20 \times 10^{-4} \times (20)^2 \times 11 = 8.8 \Omega$

14. উত্তপ্ত অবস্থায় একটি বৈদ্যুতিক ইন্ড্রির রোধ 80Ω ; তাকে দুই ঘণ্টা ব্যাপী 200 volt লাইনে যুক্ত রাখিলে খরচ কত হবে? প্রতি ইউনিটের মূল্য 36 পয়সা। [Ans. 36 পয়সা]

15. 220 V–60 W বৈদ্যুতিক বাতিকে 220 V সরবরাহ লাইনের সাথে যুক্ত করে জ্বালানো হল। জ্বলন্ত অবস্থায় বাতির ফিলামেন্টের রোধ নির্ণয় করো। [Ans. 806.67 Ω]

16. 400 watt বৈদ্যুতিক বাতিকে 200 volt সরবরাহ লাইনে যুক্ত করলে বাতি দিয়ে কত প্রবাহ যাবে? তার রোধ কত? বাতি 100 ঘণ্টা ব্যবহার করলে মোট খরচ কত হবে? প্রতি ইউনিটের খরচ 25 পয়সা। [Ans. 2 A; 100 Ω ; 10 টাকা]

17. তিনটি একই মানের রোধক একটি e.m.f. উৎসের সাথে শ্রেণি সমবায়ে যুক্ত থাকলে 10 W ওয়াট ক্ষমতা গ্রহণ করে। রোধক তিনটিকে একই উৎসের সাথে সমান্তরাল সমবায়ে যুক্ত করলে, তারা মোট কত ক্ষমতা গ্রহণ করবে? [Ans. 90 W]

18. 1.5 V তড়িচ্চালক বল এবং 0.1Ω রোধের একটি কোশ একটি রোধক ও উপেক্ষণীয় অল্প রোধের অ্যামিটারের সাথে শ্রেণি সমবায় যুক্ত করা হলে অ্যামিটারটি 2.0 A স্থির প্রবাহমাত্রা দেখায়। (i) কোশের ভিতর শক্তি উৎপাদনের হার এবং (ii) রোধকে তাপ উৎপাদনের হার নির্ণয় করো। [Ans. (i) 0.4 J (ii) 2.6 J]

19. একটি ছোটো বৈদ্যুতিক মোটরের ক্ষমতা $\frac{1}{8}$ HP; এটিকে 220 V সরবরাহ লাইনে যুক্ত করলে লাইন থেকে মোটরটি কত প্রবাহমাত্রা নেবে? 80 ঘণ্টা ধরে মোটরটি চালালে কত খরচ হবে? প্রতি B.O.T. ইউনিটের খরচ 70 পয়সা এবং 1 H.P. = 746 W. [Ans. 0.42 A; Rs. 5.22]

20. 200 volt সরবরাহ লাইনে ব্যবহার করতে হবে এরূপ দুটি বাতির একটি 200 watt এবং অন্যটি 100 watt ক্ষমতায়ুক্ত। বাতি দুটিকে শ্রেণি সমবায়ে 200 volt মেইন্স-এ লাগানো হল। বাতিদ্বয়ের রোধ অপরিবর্তিত ধরে নিলে তারা প্রত্যেকে কত ওয়াট ব্যয় করবে? [Ans. 22.2; 44.4]

21. একটি 220 volt 100 watt বাতিকে 110 volt বিভবপ্রভেদে যুক্ত করা হল। বাতি কত ওয়াট গ্রহণ করবে নির্ণয় করো। [Ans. 25 watt]

22. 60 V–120 W একটি বাতি 220 V D.C. লাইনে পূর্ণভাবে জ্বলতে পারে সেইজন্য বাতিটির সাথে কোন্ মানের একটি রোধ শ্রেণি সমবায়ে রাখা উচিত? [Ans. 80 Ω]

23. 500 watt ক্ষমতার একটি উত্তাপক 115 volt লাইনে কাজ করে। লাইন ভোল্টেজ 110 volt-এ নেমে গেলে উত্তাপকের আউটপুট ক্ষমতার শতকরা হ্রাস কত হবে? উত্তাপকের রোধ পরিবর্তন করেনি, ধরতে পারো। [Ans. 8.6%]

24. কোনো বাড়ির মেন-মিটার 10 A 220 V চিহ্নিত আছে। কতগুলি 60 watt বাতি এ বাড়িতে নিরাপত্তার সাথে ব্যবহার করা যাবে? [Ans. 36]

সংকেতঃ মোট সরবরাহ করা ওয়াট = $10 \times 220 \therefore \frac{10 \times 220}{60} = 36$

25. একটি হোস্টেলে 180 জন আবাসিক আছে। প্রতি আবাসিক প্রতিদিন 5 ঘণ্টা 60 W বৈদ্যুতিক বাতি জ্বালায়। 30 দিনের মাসে যে পরিমাণ বিদ্যুৎশক্তি লাগবে তার দরুন বিল কত হবে? প্রতি ইউনিট শক্তির ব্যয় 25 পয়সা। [Ans. 405 টাকা]

26. একটি বাড়িতে 10টি 40 watt বাতি, 5টি 80 watt পাখা এবং একটি 80 watt টিভি দৈনিক 6 ঘণ্টা করে চলে। 30 দিনের মাসে এ বাড়ির মাসিক তড়িৎশক্তি ব্যয় কত? বোর্ড অফ ট্রেড (B.O.T.) এককে তার মান কত? [Ans. $158.4 \times 10^3 \text{ kWh}$; $158.4 \times 10^3 \text{ BOT}$]

27. একটি সান্দ্য কলেজে 60 W বাতি 100টি, 100 W বাতি 80 টি, এবং 100 W পাখা 70টি প্রতিদিন যথাক্রমে 5 ঘণ্টা, 4 ঘণ্টা এবং 4 ঘণ্টা যাবৎ ব্যবহার করা হয়। প্রতি kWh 0.50 টাকা হলে কলেজকে মাসে (30 দিন) কত বৈদ্যুতিক মূল্য দিতে হয়? [Ans. Rs. 1350]

কঠিনতর গাণিতিক প্রশ্ন

1. সমদৈর্ঘ্যের দুটি একই প্রকার তারের ব্যাসের অনুপাত 1:2 এবং তারা শ্রেণি সমবায়ে যুক্ত। তাদের ভিতর দিয়ে কিছু সময় ব্যাপী কোনো স্থির তড়িৎ প্রবাহ পাঠালে উৎপন্ন তাপের তুলনা করো। [Ans. 4:1]

2. সিসার তৈরি একটি ফিউজ তারের প্রস্থচ্ছেদ 0.2 mm^2 । বর্তনীতে সংক্ষেপে-সংযোগ (short circuiting) হবার ফলে ফিউজ দিয়ে 30 A প্রবাহ গেল। সংক্ষেপ সংযোগ হবার কতক্ষণ পরে ফিউজ গলতে শুরু করবে? সিসার আপ = 0.032; গলনাঙ্ক = 327°C ; ঘনত্ব = 11.34 g/cm^3 এবং রোধাঙ্ক = $22 \times 10^{-6} \Omega \text{ cm}$; তারটির প্রারম্ভিক উষ্ণতা 27°C . [Ans. 0.1s]
3. একটি বৈদ্যুতিক স্টোভের রোধ 55Ω এবং তা 220 volt মেইনস-এর সঙ্গে যুক্ত আছে। ঐ স্টোভ দ্বারা 1 kg জলের তাপমাত্রা 34°C হতে বৃদ্ধি করে 100°C করতে কত সময় লাগবে? [Ans. 5 min 12 s (প্রায়)]
4. 10 Ω রোধের একটি উত্তাপ-কুণ্ডলী 0°C তাপমাত্রায় 40 g জলে ডুবানো আছে। ঐ জল যে-পাত্রে রাখা আছে সেই পাত্রের জলসম 10 g; ঐ কুণ্ডলী একটি ব্যাটারির সাথে যুক্ত এবং কুণ্ডলীর প্রাচীরে বিভবপ্রভেদ 25 V। কতক্ষণ পরে জল ফুটতে শুরু করবে? [$J = 4.2 \text{ joule cal}^{-1}$] [Ans. 5 min 36 s]
5. 240 volt সরবরাহ লাইনের সাথে একটি বৈদ্যুতিক কেটলিং সংযুক্ত করলে 6 মিনিটে কেটলির জল ফুটতে শুরু করে। সরবরাহ লাইন 210 volt হলে, জল ফুটতে কত সময় লাগবে? [Ans. 7 mnt. 50 s]
6. 80 cm দীর্ঘ 0.16 mm^2 ; প্রস্থচ্ছেদের একটি অন্তরিত তারকে 250 g জলে নিমজ্জিত করে 3A প্রবাহ পাঠানো হল। 20 মিনিটে জলের তাপমাত্রা 17°C বৃদ্ধি পেলে, তারের রোধাঙ্ক নির্ণয় করো। সমস্ত তাপই জলে যাচ্ছে মনে করতে পার। [$J = 4.2 \text{ joule cal}^{-1}$] [Ans. $3.28 \times 10^{-5} \Omega\text{-cm}$]
7. একটি বৈদ্যুতিক কেটলির রেটিং 220 V, 1 kW; ঐ কেটলির সাহায্যে 1 litre জলকে 80°F হতে ফুটনাঙ্কে নিতে হবে। কেটলীর জলসম 100 g; উদ্ভূত তাপের 80% জল গ্রহণ করলে, ঐ কাজের জন্য কত সময়ের প্রয়োজন? 1 B.O.T. ইউনিটের খরচা 25 পয়সা হলে, উক্ত কাজের জন্য ব্যয় কত হবে? [Ans. 6 mnt; 44s; 3 paisa (প্রায়)]
8. 100 volt সরবরাহ লাইনে পৃথকভাবে যুক্ত করলে দুটি বাতি যথাক্রমে 60 watt এবং 75 watt ক্ষমতা ব্যয় করে। প্রত্যেকটি বাতির রোধ কত? এবার বাতি দুটিকে শ্রেণি সমবায়ে 200 volt সরবরাহ লাইনে যুক্ত করলে (a) তারা মোট কত ওয়াট ব্যয় করবে? 60 ঘণ্টা ব্যাপী বাতি দুটিকে জ্বালালে মোট খরচ পড়বে কত? প্রতি ইউনিটের দাম 25 পয়সা। [Ans. $166 \frac{2}{3} \Omega$; $133 \frac{1}{3} \text{ W}$; $133 \frac{1}{3} \text{ W}$; Rs. 2]
9. একটি বৈদ্যুতিক কেটলির দুটি উত্তাপক কুণ্ডলী আছে। একটি কুণ্ডলীর সুইচ টিপলে কেটলি 6 মিনিটে ফুটতে শুরু করে কিন্তু অন্য কুণ্ডলীর সুইচ টিপলে স্ফুটন আরম্ভ হয় 8 মিনিটে। কত সময়ে কেটলি ফুটতে শুরু করবে যদি (i) কুণ্ডলী দুটিকে শ্রেণি সমবায়ে এবং (ii) সমান্তরাল সমবায়ে রেখে একসাথে উভয় সুইচ টোপা হয়? [Ans. 14 mnt; $3 \frac{3}{7}$ mnt]
10. একটি হিটার কুণ্ডলী 200 V-এ কাজ করে 100 watt ক্ষমতা গ্রহণ করে। কুণ্ডলীকে সমান দুটি ভাগে ভাগ করা হল। দুটি অংশকে সমান্তরাল সমবায়ে যুক্ত করে আবার 200 V লাইনে যুক্ত করা হল। নতুন সমবায়ে কি পরিমাণ ক্ষমতা ব্যয় করবে? [Ans. 400 watt]

[সংকেত: $H = \frac{E^2 \cdot t}{R_1}$; প্রথম কুণ্ডলীর বেলায় $R_1 = \frac{E^2 \cdot t_1}{H}$; অনুবৃত্তভাবে দ্বিতীয় কুণ্ডলীর বেলায়

$$R_2 = \frac{E^2 \cdot t_2}{H}; \text{ শ্রেণি সমবায়ের বেলায় মোট রোধ } R = R_1 + R_2 = \frac{E^2}{H} (t_1 + t_2);$$

$$\text{কিন্তু } H = \frac{E^2}{R_1 + R_2} \cdot t_s = \frac{E^2 \times H \times t_s}{E^2 (t_1 + t_2)}; t_s = t_1 + t_2 = 6 + 8 = 14 \text{ minute.}$$

$$\text{সমান্তরাল সমবায়ের বেলায় } R_p = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} = \frac{\frac{E^2}{H} t_1 \times \frac{E^2}{H} t_2}{\frac{E^2 \cdot t_1}{H} + \frac{E^2 \cdot t_2}{H}} = \frac{E^2}{H} \left(\frac{t_1 t_2}{t_1 + t_2} \right)$$

$$\text{আবার, } H = \frac{E^2}{R_p} \cdot t_p = \frac{E^2 H (t_1 + t_2)}{E^2 \cdot t_1 \cdot t_2} \cdot t_p = H \frac{(t_1 + t_2)}{t_1 t_2} \cdot t_p \therefore t_p = \frac{t_1 t_2}{t_1 + t_2} = \frac{6 \times 8}{6 + 8} = 3 \frac{3}{7} \text{ mnt.}]$$

11. একটি ইলেকট্রিক কেটলিতে দুটি তারের কুন্ডলী আছে। প্রথম কুন্ডলিটি মেইনসের সঙ্গে যুক্ত করলে কেটলির জল t_1 মিনিট পরে ফুটতে আরম্ভ করে ও দ্বিতীয় কুন্ডলীর ক্ষেত্রে এ সময় t_2 সেকেন্ড। দুটি কুন্ডলী একই সঙ্গে (i) শ্রেণি সমবায়ে ও (ii) সমান্তরাল সমবায়ে যুক্ত করলে কেটলির জল কত সময় পরে ফুটতে আরম্ভ করে।

$$[\text{Ans. (i) } t_1 + t_2 \text{ (ii) } \frac{t_1 t_2}{t_1 + t_2}]$$

12. একটি 110 volt 550 watt হিটারকে 220 volt মেইন্স-এ ব্যবহার করতে হবে। হিটারের সাথে শ্রেণি সমবায়ে কত রোধ লাগাতে হবে? [Ans. 24.2 Ω]

13. 0.5 A তড়িৎ প্রবাহী একটি তার বরফ ক্যালোরিমিটারে ভুবানো আছে এবং প্রতি মিনিট 1 g বরফ গলছে। তারটির রোধ ওহ্মে নির্ণয় করো। বরফ গলনের লীনতাপ = 80 cal/g. [Ans. 22.2 Ω]

14. 100 Ω রোধবিশিষ্ট একটি তারকুন্ডলীর ভিতর দিয়ে 30 minute 2A তড়িৎ প্রবাহ পাঠানো হল। উৎপন্ন তাপের পরিমাণ, প্রবাহিত তড়িৎপ্রধানের এবং কৃতকার্যের পরিমাণ নির্ণয় করো।

$$[\text{Ans. } 17.14 \times 10^4 \text{ cal} ; 3600 \text{ coulomb} ; 72 \times 10^4 \text{ J}]$$

15. 1.1 V তড়িচ্চালক বল এবং 1 Ω অভ্যন্তরীণ রোধ সম্পন্ন এরূপ 6টি কোশ দ্বারা 3 Ω রোধের একটি তারকে উত্তপ্ত করা প্রয়োজন। কোশগুলিকে কীভাবে সংযুক্ত করলে, তারকে যথাসম্ভব দ্রুত উত্তপ্ত করা যাবে? এই অবস্থায় প্রতি মিনিটে কত তাপ উৎপন্ন হবে? $J = 4.2 \text{ joules cal}^{-1}$. [Ans. 23 cal ; দুটি পংক্তির প্রত্যেকটিতে 2টি কোশ শ্রেণি সমবায়ে এবং তাদের সাথে অপর দুটি কোশ শ্রেণি সমবায়ে]

16. একটি উত্তাপক যন্ত্রকে 250 volt-এ কাজ করলে 1000 watt ক্ষমতা ব্যয় করে। ঐ যন্ত্রকে 200 volt সরবরাহ লাইনে লাগিয়ে একই ওয়াট ব্যয় করতে যন্ত্রের উত্তাপক তারের শতকরা কীরূপ পরিবর্তন প্রয়োজন? [Ans. 36% হ্রাস (প্রায়)]

17. একটি বৈদ্যুতিক বাল্বে 220 V – 100 W দাগ কাটা আছে। বাল্‌বটিতে 150 অথবা তার অধিক ওয়াট দিলে বাল্‌বটি পুড়ে যায়। বাল্‌বটি কতটা ভোল্টেজ পরিবর্তন সহ্য করতে পারে? [Ans. 270 V পর্যন্ত]

18. একটি বৈদ্যুতিক রেফ্রিজারেটর চালাবার জন্য 120 watt মোটর ব্যবহার করা হল। মোটরটি যদি দিনের $\frac{1}{3}$ সময় চলে, তবে 30 দিনের মাসে মোট কত ব্যয় হবে? বৈদ্যুতিক শক্তির মূল্য প্রতি কিলোওয়াট ঘণ্টাতে 8 পয়সা। [Ans. 2 টাকা 30 পয়সা]

19. 0.1500 kg/min বেগে একটি নলের মধ্য দিয়ে জল প্রবাহিত হচ্ছে এবং 25.2 W-এর একটি চুম্বি দ্বারা উত্তপ্ত হচ্ছে। অন্তর্প্রবাহী জলের তাপমাত্রা 17.4°C এবং বহিঃপ্রবাহী জলের 19.6°C। জলের প্রবাহবেগ বাড়িয়ে 0.2318 kg/min করলে এবং উত্তাপের হার 37.8 W করলে দেখা যায় যে অন্তর্প্রবাহী এবং বহিঃগামী জলের তাপমাত্রা অপরিবর্তিত থাকে। (i) জলের আপেক্ষিক তাপ (ii) নল থেকে তাপক্ষয়ের হার বার করো। [Ans. (i) 1 ; 0.5 cal/s]

$$[\text{সংকেত : প্রথমবার, } 25.2 = \frac{150}{60} \times S \times 2.2 + H]$$

$$\text{দ্বিতীয়বার, } 37.8 = \frac{231.8}{60} \times S \times 2.2 + H]$$

20. একটি তাপযুগ্মের দুই প্রান্তের তাপমাত্রা 0°C এবং 200°C ; তাপযুগ্মে উৎপন্ন তড়িচ্চালক বল নির্ণয় করো। দেওয়া আছে $a = 16.3 \times 10^{-6} \text{ V/}^\circ\text{C}$ এবং $b = -0.021 \times 10^{-6} \text{ V/}^\circ\text{C}$

$$[\text{সংকেত : } E = at + bt^2]$$

$$[\text{Ans. } 23.9 \times 10^{-4} \text{ V/}^\circ\text{C}]$$

21. একটি তাপযুগ্মের একটি সংযোগের উষ্ণতা 0°C এবং অপর সংযোগের উষ্ণতা $t^\circ\text{C}$ হলে উৎপন্ন তড়িচ্চালক বল মাইক্রোভোল্ট এককে হয় : $E = 18.9t - 0.0021t^2$; তাপযুগ্মের উৎকর্ম তাপমাত্রা এবং নিরপেক্ষ তাপমাত্রা নির্ণয় করো। [Ans. 900°C ; 450°C]

□ M.C.Q. প্রশ্নের উত্তর □

(A)				
(i) B	(vi) D	(xi) A,D	(xvi) A	(xxi) C
(ii) A	(vii) A,C,D	(xii) B	(xvii) A	(xxii) B
(iii) D	(viii) A	(xiii) C	(xviii) B	(xxiii) C
(iv) C	(ix) C	(xiv) B	(xix) C	(xxiv) A
(v) B	(x) B,D	(xv) A	(xx) C	(xxv) A
				(xxvi) B

(B) [i] 4; [ii] 20Ω ; [iii] $\frac{1}{2}$; [iv] দ্বিগুন; [v] শ্রেণি; [vi] $\frac{VIT}{J}$ ।

(C) [i] নির্ভুল, [ii] ভুল, [iii] নির্ভুল, [iv] নির্ভুল, [v] ভুল, [vi] ভুল।

[মডেল প্রশ্নের সমাধান]

প্রশ্ন ১১. একটি বৈদ্যুতিক সার্কিটে একটি বৈদ্যুতিক প্রবাহের স্রোত রয়েছে।

(a) 100V (b) 100V (c) 100V (d) 100V

১১. একটি বৈদ্যুতিক সার্কিটে একটি বৈদ্যুতিক প্রবাহের স্রোত রয়েছে। (a) 100V (b) 100V (c) 100V (d) 100V ।

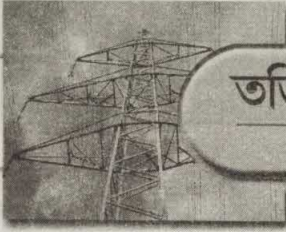
(a) 100V (b) 100V (c) 100V (d) 100V

১১. একটি বৈদ্যুতিক সার্কিটে একটি বৈদ্যুতিক প্রবাহের স্রোত রয়েছে। (a) 100V (b) 100V (c) 100V (d) 100V ।

১১. একটি বৈদ্যুতিক সার্কিটে একটি বৈদ্যুতিক প্রবাহের স্রোত রয়েছে। (a) 100V (b) 100V (c) 100V (d) 100V ।

১১. একটি বৈদ্যুতিক সার্কিটে একটি বৈদ্যুতিক প্রবাহের স্রোত রয়েছে। (a) 100V (b) 100V (c) 100V (d) 100V ।

১১. একটি বৈদ্যুতিক সার্কিটে একটি বৈদ্যুতিক প্রবাহের স্রোত রয়েছে। (a) 100V (b) 100V (c) 100V (d) 100V ।



তড়িৎ-প্রবাহের রাসায়নিক ক্রিয়া

[CHEMICAL EFFECT OF CURRENT]*

2.1. সূচনা (Introduction) :

যখন তার দিয়ে বা এরূপ কোন কঠিন পরিবাহীর ভিতর দিয়ে তড়িৎ-প্রবাহ ঘটে তখন পরিবাহী উত্তপ্ত হয়ে পড়ে কিন্তু তার কোনো রাসায়নিক পরিবর্তন দেখা যায় না। যেমন, আমার তার দিয়ে তড়িৎ-প্রবাহ ঘটলে তাপের সৃষ্টি হবে এবং তার উত্তপ্ত হবে। কিন্তু আমার কোনো রাসায়নিক পরিবর্তন ঘটবে না। তরল পরিবাহীর ভিতর দিয়ে তড়িৎ-প্রবাহ গেলে অন্যরকম ঘটনা ঘটে। যেমন কোন ক্ষারক (base), অম্ল (acid) বা লবণ (salt) দ্রবণের ভিতর দিয়ে তড়িৎ-প্রবাহ পাঠালে একটি রাসায়নিক ক্রিয়া ঘটে দেখা যায়, যার ফলে দ্রাব পদার্থের (solute substance) অণুগুলি বিচ্ছিন্ন হয়ে পড়ে। এই ঘটনাকে তড়িৎ-প্রবাহের রাসায়নিক ক্রিয়া বলা হয়। ধাতু-নিষ্কাশন, তড়িৎ-প্রলেপন, প্রভৃতি নানাপ্রকার শিল্পকর্মে এই ঘটনার ব্যাপক প্রয়োগ দেখা যায়।

2.2. কয়েকটি প্রয়োজনীয় রাশি (Some important terms) :

(i) **আয়ন (Ion)** : কোনো অণু, পরমাণু অথবা মূলক (radical)-এ যদি স্বাভাবিক সংখ্যার ইলেকট্রন অপেক্ষা বেশি বা কম ইলেকট্রন থাকে তবে তাদের বলা হয় আয়ন। যদি ইলেকট্রন সংখ্যা স্বাভাবিক অপেক্ষা বেশি থাকে তবে তাতে নেগেটিভ তড়িৎের প্রকাশ হবে এবং সেই কারণে তাকে বলা হবে নেগেটিভ আয়ন (negative ion) অথবা **অ্যানায়ন (anion)** ; আবার ইলেকট্রন সংখ্যা স্বাভাবিক অপেক্ষা কম হলে, তাতে পজিটিভ তড়িৎের প্রকাশ হবে এবং সেই কারণে তাতে পজিটিভ আয়ন (positive ion) বা **ক্যাটায়ন (cation)** বলা হবে। একথা মনে রাখা প্রয়োজন যে স্বাভাবিক অবস্থায় পরমাণু বা অণু প্রভৃতিতে ইলেকট্রনের মোট নেগেটিভ তড়িৎ তার নিউক্লিয়াসে অবস্থিত মোট পজিটিভ তড়িৎের সমান— অর্থাৎ তা নিউট্রা।

(ii) **তড়িদ্রবিশ্লেষ্য (Electrolyte)** : যে তরলের ভিতর দিয়ে পজিটিভ (ক্যাটায়ন) এবং নেগেটিভ আয়নের (অ্যানায়ন) সহায়তায় তড়িৎপ্রবাহ চালু থাকে তাকে তড়িদ্রবিশ্লেষ্য বলা হয়। যেমন, তুঁতের দ্রবণ (copper sulphate solution), সিলভার নাইট্রেট দ্রবণ, ঈষৎ অম্লযুক্ত জল প্রভৃতি ভাল তড়িৎ-বিশ্লেষ্য। আবার চিনির দ্রবণ তড়িদ্রবিশ্লেষ্য নয়। সাধারণভাবে তেল বা বিশুদ্ধ জল তড়িৎ-পরিবাহী নয়। পারদ তরল এবং তড়িৎের সুপরিবাহী হলেও একে তড়িদ্রবিশ্লেষ্য বলে গণ্য করা হয় না কারণ পারদ এবং তরল অবস্থায় অন্যান্য ধাতুর ভিতর দিয়ে তড়িৎপ্রবাহ পাঠানোর চেষ্টা করলে তরলের মধ্যে আধান বহনকারী আয়নের সৃষ্টি হয় না, এদের মুক্ত ইলেকট্রনগুলিই আধান পরিবহনে অংশ গ্রহণ করে। ক্ষারক, লবণ এবং অম্লের দ্রবণ সাধারণভাবে তড়িদ্রবিশ্লেষ্য।

(iii) **তড়িৎ-বিশ্লেষণ (Electrolysis)** : দ্রবণের ভিতর দিয়ে তড়িৎপ্রবাহ হলে, দ্রাব পদার্থের অণুগুলির বিশ্লেষণের দরুন দ্রবণে যে রাসায়নিক ক্রিয়া ঘটে তাকে তড়িদ্রবিশ্লেষণ বলে।

* কেবলমাত্র জয়েন্ট এন্ট্রাল পরীক্ষার জন্য।

(iv) তড়িদ্বার (Electrodes) : যে-দুটি পরিবাহীর সাহায্যে তড়িৎ-বিশ্লেষ্যের ভিতর তড়িৎ প্রবাহ প্রবেশ করে এবং তড়িৎবিশ্লেষ্য হতে প্রবাহ নিষ্কাশিত হয় তাদের তড়িদ্বার বলা হয়। যে তড়িদ্বারের মাধ্যমে প্রবাহ তড়িৎবিশ্লেষ্যে প্রবেশ করে তাকে বলা হয় অ্যানোড (anode) এবং যে-দ্বারের মাধ্যমে নিষ্কাশিত হয় তাকে বলা হয় ক্যাথোড (cathode)।

(v) তড়িৎবিশ্লেষক কোশ (Electrolytic cell) : যে পাত্রে তড়িৎ-বিশ্লেষ্য, তড়িদ্বার প্রভৃতি রেখে তড়িৎবিশ্লেষণ করা হয় তাকে তড়িৎবিশ্লেষক কোশ বলা হয়।

তড়িৎবিশ্লেষক কোশ এবং তড়িৎকোশ এক জিনিস না, একথা মনে রাখা প্রয়োজন। তড়িৎবিশ্লেষক কোশে তড়িৎশক্তি রাসায়নিক শক্তিতে রূপান্তরিত হয় কিন্তু তড়িৎ কোশে — রাসায়নিক শক্তি তড়িৎ শক্তিতে রূপান্তরিত হয়।

[দ্রঃ তড়িৎবিশ্লেষক কোশকে ইংরাজিতে ‘ভোল্টমিটার’ (voltmeter) এই নামে অভিহিত করা হয়। এই সম্পর্কে ভোল্টমিটারের (voltmeter) সাথে এর পার্থক্য লক্ষণীয়।]

2.3.

তড়িৎবিশ্লেষণের কয়েকটি উদাহরণ

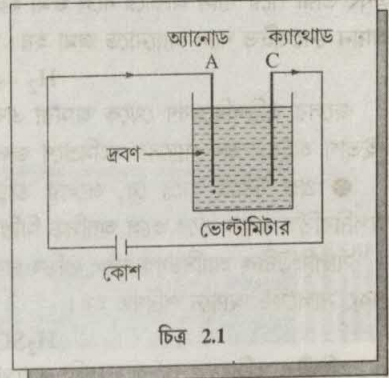
(Some illustrations of electrolysis) :

(i) তুঁতের দ্রবণের তড়িৎবিশ্লেষণ (Electrolysis of copper sulphate solution) : একটি কাচের পাত্রে খানিকটা তুঁতের দ্রবণ নাও এবং তাতে কয়েক ফোঁটা সালফিউরিক অ্যাসিড মিশাও। দ্রবণের ভিতর দুটি তামার পাত ডুবিয়ে পাত দুটির সাথে একটি তড়িৎ কোশ যুক্ত কর। C-পাত ডোবাবার পূর্বে তাকে পরিষ্কার করে ওজন নাও। এইবার কিছুক্ষণ যাবৎ তড়িৎ কোশ থেকে দ্রবণের ভিতর তড়িৎ প্রবাহ পাঠাও। এখানে Aপাত অ্যানোড এবং C-পাত ক্যাথোড (2.1 নং চিত্র)। কিছুক্ষণ পরে, C-পাত তুলে শুষ্ক কর ও ওজন নাও। দেখবে তার ওজন বৃদ্ধি পেয়েছে।

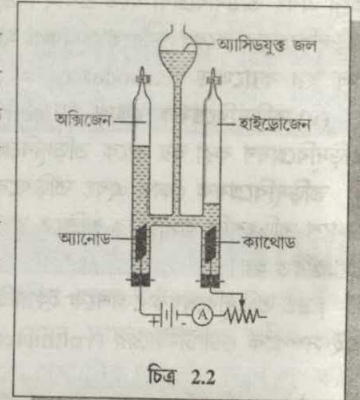
এক্ষেত্রে তুঁতের দ্রবণের প্রতি অণু Cu^{++} এবং SO_4^{--} আয়নে বিচ্ছিন্ন হয়। ($\text{CuSO}_4 \rightleftharpoons \text{Cu}^{++} + \text{SO}_4^{--}$) প্লেট দুটির ভিতরকার তড়িৎক্ষেত্র দ্বারা চালিত হয়ে Cu^{++} আয়ন ক্যাথোডের দিকে অগ্রসর হয় এবং তামার অণুরূপে ঐ পাতে জমা হয়। SO_4^{--} আয়ন অ্যানোডের দিকে অগ্রসর হয়ে অ্যানোড পাতের Cu অণুর সাথে বিক্রিয়া করে CuSO_4 অণু সৃষ্টি করে এবং ঐ অণু দ্রবণে দ্রবীভূত হয়ে দ্রবণের ঘনত্ব ঠিক রাখে ($\text{Cu}^{++} + \text{SO}_4^{--} = \text{CuSO}_4$)। সুতরাং মোট ফল এই যে, অ্যানোড হতে তামা ক্যাথোডে জমা হয়। ফলে অ্যানোডের ওজন কমে এবং ক্যাথোডের ওজন বৃদ্ধি পায় কিন্তু দ্রবণের ঘনত্বের কোনো পরিবর্তন হয় না।

যদি তড়িদ্বার দুটি তামার পরিবর্তে অন্য কোন নিষ্ক্রিয় ধাতুর তৈরি হয় তবে ক্যাথোডে পূর্বের মত তামার অণু জমা হবে কিন্তু SO_4 আয়ন জলের H_2 অণুর সংযোগে H_2SO_4 অ্যাসিড তৈরি করবে এবং O_2 গ্যাস বিমুক্ত করবে। এক্ষেত্রে দ্রবণের ঘনত্ব ক্রমশ কমে যাবে। বেশ কিছুক্ষণ যাবৎ তড়িৎ-বিশ্লেষণ চালালে, ক্রমশ দ্রবণ হতে CuSO_4 অপসারিত হবে এবং শেষ পর্যন্ত বর্ণহীন সালফিউরিক অ্যাসিড পড়ে থাকবে। তারপরেও তড়িৎ-প্রবাহ চালালে, অ্যাসিডযুক্ত জলের তড়িৎ-বিশ্লেষণ হয়ে ক্যাথোডে হাইড্রোজেন এবং অ্যানোড অক্সিজেন মুক্ত হবে।

অনুরূপভাবে রূপার তড়িদ্বারের সাহায্যে সিলভার নাইট্রেট দ্রবণের তড়িৎবিশ্লেষণ করলে, অ্যানোড থেকে রূপা ক্যাথোডে জমা হবে।



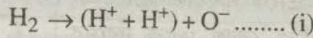
(ii) জলের তড়িদ্বিচ্ছেদ (Electrolysis of water) : জলের তড়িদ্বিচ্ছেদ দেখাবার জন্য অধ্যাপক হফম্যান একটি সুবিধাজনক যন্ত্র নির্মাণ করেন। এই যন্ত্রে আয়তনে দাগ কাটা প্যাঁচকলসহ দুটি কাঁচ-নল নেওয়া হয় এবং তাদের ভিতর প্লাটিনাম নির্মিত দুটি তড়িদ্বার প্রবেশ করানো থাকে (চিত্র নং 2.2)। নল দুটিকে যুক্ত করে নীচের দিকে আর একটি অনুভূমিক নল থাকে। ঐ অনুভূমিক নলের সাথে আবার আর একটি উল্লম্ব নল এবং ঐ নলের মাথায় একটি জলাধার যুক্ত আছে।



প্রথমে প্যাঁচকল দুটি খুলে জলাধারে অ্যাসিডযুক্ত জল ঢালতে হবে, যতক্ষণ না দাগ কাটা নল দুটি জলপূর্ণ হয়। তারপর প্যাঁচকল বন্ধ করে ব্যাটারির সাহায্যে তড়িৎ প্রবাহ পাঠাতে হবে। উভয় তড়িদ্বার হতে বুদবুদ উঠতে থাকবে এবং দাগকাটা নল হতে জল ধীরে ধীরে নেমে আসবে। যখন দুই নলে যথেষ্ট পরিমাণ গ্যাস জমা হবে তখন তড়িৎ প্রবাহ বন্ধ করে দিতে হবে।

দেখা যাবে একটি নলে অপরটি অপেক্ষা প্রায় দ্বিগুণ আয়তনের গ্যাস জমা হয়েছে। রাসায়নিক পরীক্ষায় প্রমাণিত হবে যে কম আয়তনের গ্যাসটি অক্সিজেন এবং দ্বিগুণ আয়তনের গ্যাসটি হাইড্রোজেন।

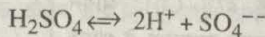
এক্ষেত্রে জলের প্রতি অণু তড়িৎ-বিচ্ছেদনের ফলে হাইড্রোজেন এবং অক্সিজেন পরমাণুতে বিচ্ছিন্ন হয় এবং তারা পরে গ্যাস আকারে নলে জমা হয়। হাইড্রোজেন আয়ন পজিটিভ বলে ক্যাথোডে এবং অক্সিজেন আয়ন নেগেটিভ বলে অ্যানোডে জমা হয়। অ্যাসিড অপরিবর্তিত থাকে।



জলের তড়িদ্বিচ্ছেদ থেকে আমরা একথাও জানতে পারি, আয়তন হিসাবে একভাগ অক্সিজেন ও দুইভাগ হাইড্রোজেন গ্যাসের সংমিশ্রণে জল তৈরি হয়।

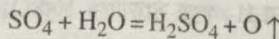
● প্রশ্ন উঠতে পারে যে, জলের তড়িদ্বিচ্ছেদে যদি শুধু জলের অণু বিচ্ছিন্ন হয় এবং অ্যাসিড অপরিবর্তিত থাকে তবে জলে অ্যাসিড মিশ্রিত করার প্রয়োজন কি ?

সালফিউরিক অ্যাসিডযুক্ত জলে তড়িৎ প্রবাহ পাঠালে অ্যাসিডের প্রতিটি অণু বিয়োজিত হয়ে হাইড্রোজেন এবং সালফেট আয়নে পরিণত হয়।



পজিটিভ তড়িৎযুক্ত H^+ আয়নগুলি ক্যাথোডে পৌঁছে ক্যাথোড পাত থেকে ইলেকট্রন সংগ্রহ করে এবং নিস্ফল হাইড্রোজেন পরমাণু গঠন করে। দুটি হাইড্রোজেন পরমাণু সংযুক্ত হয়ে হাইড্রোজেন অণু গঠিত হয় এবং ক্যাথোড পাত থেকে গ্যাসের আকারে নির্গত হয়।

নেগেটিভ তড়িৎযুক্ত $(SO_4)^{2-}$ আয়নগুলি অ্যানোডে পৌঁছে তাদের অতিরিক্ত ইলেকট্রন অ্যানোড পাতে বর্জন করে এবং নিস্ফল সালফেট (SO_4) মূলকে পর্যবসিত হয়। মূলকের স্বাধীন অস্তিত্ব থাকে না বলে, এরা নিস্ফল হবার সঙ্গে সঙ্গে জলের সাথে বিক্রিয়া করে সালফিউরিক অ্যাসিড ও অক্সিজেন উৎপন্ন করে। এই কারণে অ্যানোড থেকে অক্সিজেন নির্গত হতে দেখা যায়।



দেখা গেল যে সালফিউরিক অ্যাসিড পুনরায় সৃষ্টি হয়। তাই সম্পূর্ণ বিক্রিয়াকে (i) নং সমীকরণ দ্বারা বুঝানো হয়। সুতরাং সালফিউরিক অ্যাসিডের কাজ শুধু (i) দ্রবণে আয়নের ঘনত্ব বৃদ্ধি করা এবং (ii) একটি নির্দিষ্ট ভিত্তবস্ত্রে বিশুদ্ধ জল অপেক্ষা অ্যাসিড মিশ্রিত জলে অধিকতর সুবিধার সঙ্গে তড়িৎ প্রবাহ চালনা করা। অধিকতর প্রবাহ অধিকতর হারে H^+ আয়ন উৎপন্ন করে ; ফলে, জলের অণু দ্রুতহারে H^+ এবং OH^- আয়নে বিচ্ছিন্ন হয়। এতে তড়িৎ-বিচ্ছেদ প্রক্রিয়া মসৃণভাবে সম্পাদিত হয়।

□ EXAMPLE □

জলের বিয়োজনে তড়িৎ কোশের তড়িচ্চালক বলের সর্বনিম্ন মান কত হওয়া উচিত নির্ণয় কর। জল গঠনে 1g হাইড্রোজেনের সংযোগে তাপ উৎপাদনের পরিমাণ 3400 calorie। হাইড্রোজেনের তড়িৎ-রাসায়নিক তুল্যাঙ্ক 0.0000104 g/coulomb. $J = 4.2 \text{ joule/cal}$.

উঃ 1g জল বিয়োজনে যে-তাপশক্তির উদ্ভব হয় তা তড়িদ্বিচ্ছেষণের মাধ্যমে তড়িৎশক্তি থেকে উদ্ভূত হয়। এখন উদ্ভূত তাপশক্তি = 3400 cal = $3400 \times 4.2 \text{ joule}$

1 g জল বিয়োজনে যদি $q \text{ coulomb}$ তড়িতাধানের প্রয়োজন হয় এবং তড়িৎ উৎসের বিভব পার্থক্য যদি $V \text{ volt}$ হয়, তা হলে কৃতকার্য = $q \cdot V \text{ joule}$.

এখন হাইড্রোজেনের তড়িৎ-রাসায়নিক তুল্যাঙ্ক $Z_H = 0.0000104 \text{ g/C}$; অতএব অক্সিজেনের তড়িৎ

$$\text{-রাসায়নিক তুল্যাঙ্ক } Z_{\text{oxy}} = (C.E)_{\text{oxy}} \times Z_H = \frac{16}{2} \times 0.0000104 = 0.0000832 \text{ g/C}$$

স্পষ্টত, 1 coulomb আধান ($0.0000104 + 0.0000832$) = 0.0000936 g জলকে বিয়োজন করবে।

অতএব, 1 g জল বিয়োজনের জন্য প্রয়োজনীয় তড়িতাধান $q = \frac{1}{936} \times 10^7 C$

এখন, $qV = 3400 \times 4.2$

$$\text{অথবা, } \frac{10^7}{936} \times V = 3400 \times 4.2$$

$$\therefore V = \frac{3400 \times 4.2 \times 936}{10^7} \text{ volt}$$

$$= 1.34 \text{ volt (প্রায়)।}$$

অতএব, 1 g জল বিয়োজনের জন্য তড়িচ্চালক বলের সর্বনিম্ন মান = 1.34 volt.

2.4.

কঠিন এবং তরলের ভিতর দিয়ে তড়িৎ পরিবহন

(Conduction of electricity through solids and liquids)

ধাতুর ন্যায় কঠিন পদার্থ এবং তড়িৎ-বিচ্ছেদ্যের মতো তরল পদার্থ — উভয়েই তড়িৎ পরিবাহী। কিন্তু এদের ভিতর দিয়ে তড়িৎ পরিবহন প্রণালী এক নয়। পার্থক্যগুলি নিম্নরূপ :

- ধাতব পদার্থের তড়িৎ পরিবাহিতা তড়িদ্বিচ্ছেদ্যের পরিবাহিতার তুলনায় অনেক বেশি।
- ধাতব পদার্থে নেগেটিভ তড়িৎযুক্ত ইলেকট্রনের অনুপ্রবাহের (drift) দ্বারা তড়িৎ পরিবাহিত হয় কিন্তু তরল পদার্থে পজিটিভ ও নেগেটিভ তড়িৎযুক্ত দুই প্রকার আয়নের বিপরীতমুখী গতির দ্বারা তড়িৎ পরিবাহিত হয়।
- ধাতব পদার্থে তড়িৎ প্রবাহ হলে, কেবলমাত্র আধানের পরিবহন (transport) হয় কিন্তু তরল পদার্থে আধানযুক্ত পদার্থের পরিবহন হয়।
- ধাতব পদার্থে তড়িৎ প্রবাহ ঘটলে, কোন রাসায়নিক ক্রিয়া হয় না কিন্তু তড়িদ্বিচ্ছেদ্যের ভিতর দিয়ে তড়িৎ প্রবাহ হলে তড়িদ্বারা অথবা তড়িদ্বারের নিকটবর্তী অঞ্চলে রাসায়নিক ক্রিয়া হয়।
- তাপমাত্রা বৃদ্ধিতে ধাতব বস্তুর পরিবহন ক্ষমতা হ্রাস পায় কিন্তু তড়িদ্বিচ্ছেদ্যের ক্ষমতা বৃদ্ধি পায়।

2.5.

তড়িদ্বিচ্ছেষণ সম্পর্কিত ফ্যারাডের সূত্রাবলি (Faraday's laws of electrolysis) :

1833 খ্রিস্টাব্দে ফ্যারাডে তড়িদ্বিচ্ছেষণ সম্পর্কিত কয়েকটি পরিমাণমূলক (quantitative) পরীক্ষা করেন এবং পরীক্ষার ফলফল থেকে দুটি সূত্রের প্রতিষ্ঠা করেন। এদের তড়িদ্বিচ্ছেষণ সম্পর্কিত ফ্যারাডের সূত্রাবলি বলা হয়।

প্রথম সূত্র : তড়িদ্বিচ্ছেষের ভিতর দিয়ে তড়িৎ প্রবাহ পাঠালে যে-কোনো তড়িদ্বারে মুক্ত আয়নের ভর প্রবাহিত তড়িতের পরিমাণের সমানুপাতিক।

(The mass of an ion liberated at any electrode is proportional to the quantity of electricity that flows through the electrolyte.)

দ্বিতীয় সূত্র : সমপরিমাণ তড়িৎ বিভিন্ন তড়িদ্বিচ্ছেষের ভিতর দিয়ে প্রবাহিত হলে, বিভিন্ন তড়িদ্বারে মুক্ত আয়নের ভর তাদের রাসায়নিক তুল্যাঙ্কের সমানুপাতিক হয়।

(When same quantity of electricity passes through different electrolytes, the masses of ions liberated at different electrodes are proportional to their chemical equivalents.)

প্রথম সূত্রের আলোচনা : ধরো, কোনো তড়িদ্বিচ্ছেষের ভিতর দিয়ে I তড়িৎ প্রবাহ t -সময় ধরে চলার ফলে W পরিমাণ আয়ন মুক্ত হল। এক্ষেত্রে, প্রবাহিত তড়িতের পরিমাণ, $Q = I \times t$ । সুতরাং প্রথম সূত্র হতে আমরা লিখতে পারি,

$$W \propto Q \propto I \times t \quad \text{বা} \quad W = ZIt. [Z = \text{ধ্রুবক}]$$

যদি, $I = 1$ অ্যাম্পিয়ার এবং $t = 1$ সেকেন্ড হয়, তবে $W = Z$ অর্থাৎ তড়িৎ-বিশ্লেষের ভিতর দিয়ে 1 অ্যাম্পিয়ার প্রবাহমাত্রা 1 সেকেন্ড ব্যাপী চললে যত ভরের আয়ন মুক্ত হবে তাই ধ্রুবক Z -এর সমান। এই ধ্রুবককে বলা হয় তড়িৎ-রাসায়নিক তুল্যাঙ্ক (electro-chemical equivalent সংক্ষেপে, E.C.E.)।

সংজ্ঞা : কোনো পদার্থের তড়িৎ-রাসায়নিক তুল্যাঙ্কের সংজ্ঞাস্বরূপ বলা যেতে পারে যে ওই পদার্থের কোনো লবণের দ্রবণের ভিতর দিয়ে 1 কুলম্ব তড়িৎ অর্থাৎ 1 অ্যাম্পিয়ার প্রবাহ মাত্রা 1 সেকেন্ড ব্যাপী প্রবাহিত হলে যত গ্রাম ঐ পদার্থ মুক্ত হবে তাই ঐ পদার্থের তড়িৎ-রাসায়নিক তুল্যাঙ্ক।

যেমন, রূপার তড়িৎ রাসায়নিক তুল্যাঙ্ক $1.118 \times 10^{-3} \text{ g/C}$ বলতে আমরা বুঝি যে রৌপ্যটিত কোনো লবণের ভিতর দিয়ে 1 কুলম্ব তড়িৎ পাঠালে $1.118 \times 10^{-3} \text{ g}$ রূপা মুক্ত হবে।

এস. আই. পদ্ধতিতে তড়িৎ-রাসায়নিক তুল্যাঙ্কের সংজ্ঞা নিম্নরূপ :

কোনো পদার্থের লবণের দ্রবণের ভিতর দিয়ে 1 কুলম্ব তড়িতাধান পাঠালে, যত কিলোগ্রাম ঐ পদার্থ মুক্ত হবে তাই ঐ পদার্থের তড়িৎ-রাসায়নিক তুল্যাঙ্ক। এর একক কিলোগ্রাম প্রতি কুলম্ব (kg/C)। এস. আই. পদ্ধতিতে রূপার তড়িৎ-রাসায়নিক তুল্যাঙ্ক $= 1.118 \times 10^{-6} \text{ kg/C}$ ।

আবার, তড়িতাধানকে emu এককে (C.G.S. পদ্ধতি) প্রকাশ করলে, রূপার তড়িৎ-রাসায়নিক তুল্যাঙ্ক দাঁড়াবে $1.118 \times 10^{-2} \text{ g/emu}$ । [1 emu তড়িতাধান = 10 কুলম্ব]

দ্বিতীয় সূত্রের আলোচনা :

সংজ্ঞা : কোনো মৌলের রাসায়নিক তুল্যাঙ্ক (chemical equivalent সংক্ষেপে, C.E.) বলতে ঐ মৌলের আপেক্ষিক পারমাণবিক ভর ও যোজ্যতার (valency) অনুপাত বুঝায়।

$$\text{রাসায়নিক তুল্যাঙ্ক} = \frac{\text{আপেক্ষিক পারমাণবিক ভর}}{\text{যোজ্যতা}}$$

রূপার আপেক্ষিক পারমাণবিক ভর 108 এবং যোজ্যতা 1 ; অতএব, রূপার রাসায়নিক তুল্যাঙ্ক 108। অক্সিজেন, তামা, দস্তা ও সোডিয়ামের আপেক্ষিক পারমাণবিক ভর যথাক্রমে 16, 63.5, 65.37 এবং 23 এবং তাদের যোজ্যতা যথাক্রমে 2, 2, 2 এবং 1। অতএব, তাদের রাসায়নিক তুল্যাঙ্ক যথাক্রমে 8, 31.75, 32.68 এবং 23।

এখন, মনে কর, আমরা জল, তুঁতের দ্রবণ এবং সিলভার নাইট্রেট দ্রবণ নিয়ে তাদের ভিতর দিয়ে সমপরিমাণ তড়িৎ পাঠালাম। তড়িৎ-বিশ্লেষণের ফলে, বিভিন্ন ক্যাথোডে যথাক্রমে হাইড্রোজেন, তামা এবং রূপা মুক্ত হবে। দ্বিতীয় সূত্র হতে আমরা পাই যে, 1 g হাইড্রোজেন মুক্ত হলে, তামা মুক্ত হবে, $\frac{63.5}{2}$ g ;

এবং রূপা মুক্ত হবে 108 g ; কারণ 1, $\frac{63.5}{2}$ এবং 108 যথাক্রমে হাইড্রোজেন, তামা ও রূপার রাসায়নিক তুল্যাঙ্ক।

[দ্রঃ তড়িৎ-রাসায়নিক তুল্যাঙ্ক এবং রাসায়নিক তুল্যাঙ্কের পার্থক্য মনে রাখা প্রয়োজন।]

মৌলের তড়িৎ-রাসায়নিক তুল্যাঙ্ক এবং রাসায়নিক

2.6.

তুল্যাঙ্কের ভিতর সম্পর্ক (Relation between E.C.E. and C.E. of an element) :

ধরে, আমরা একটি তাম্র-ভোল্টামিটার এবং একটি জল ভোল্টামিটার নিয়ে তাদের প্রত্যেকের ভিতর 1 coulomb তড়িৎ পাঠালাম। ফ্যারাডের প্রথম সূত্র হতে পাই, $W_1 = Z_1$; এবং $W_2 = Z_2$ অস্থলে, W_1 এবং W_2 যথাক্রমে মুক্ত তামা এবং হাইড্রোজেনের ভর এবং Z_1 ও Z_2 যথাক্রমে তাদের তড়িৎ-রাসায়নিক তুল্যাঙ্ক। $\therefore \frac{W_1}{W_2} = \frac{Z_1}{Z_2}$ (i)

তাম্র ভোল্টামিটারের ক্যাথোডে তামা এবং জল ভোল্টামিটারকে ক্যাথোডে হাইড্রোজেন জমা হবে।

আবার, ফ্যারাডের দ্বিতীয় সূত্র হতে পাই, $\frac{W_1}{W_2} = \frac{C_1}{C_2}$ (ii)

C_1 এবং C_2 হল যথাক্রমে তামা এবং হাইড্রোজেনের রাসায়নিক তুল্যাঙ্ক।

অতএব, $\frac{Z_1}{Z_2} = \frac{C_1}{C_2}$ (iii) অথবা, $Z_1 = \frac{C_1}{C_2} \times Z_2 = C_1 \times Z_2$

[\therefore হাইড্রোজেনের রাসায়নিক তুল্যাঙ্ক $C_2 = 1$]

সুতরাং তামার তড়িৎ-রাসায়নিক তুল্যাঙ্ক = তামার রাসায়নিক তুল্যাঙ্ক \times হাইড্রোজেনের তড়িৎ-রাসায়নিক তুল্যাঙ্ক। এই সম্পর্ক যেকোন মৌলের বেলায় প্রযুক্ত হবে।

সাধারণভাবে বলা যায়, কোন মৌলের তড়িৎ রাসায়নিক তুল্যাঙ্ক = ঐ মৌলের রাসায়নিক তুল্যাঙ্ক \times হাইড্রোজেনের তড়িৎ রাসায়নিক তুল্যাঙ্ক।

(iii) নং সমীকরণ হতে একথাও বলা যায় যে দুটি মৌলের তড়িৎ-রাসায়নিক তুল্যাঙ্কের অনুপাত মৌল দুটির রাসায়নিক তুল্যাঙ্কের অনুপাতের সমান।

এই সম্পর্ক হতে কোন একটি বিশেষ মৌলের তড়িৎ-রাসায়নিক তুল্যাঙ্ক জানা থাকলে, অপর কোন মৌলের তড়িৎ-রাসায়নিক তুল্যাঙ্ক নির্ণয় করা যায়। বিশেষ মৌল হিসাবে রূপাকে নেওয়া হয়। নিম্নলিখিত উদাহরণ লক্ষ কর।

□ EXAMPLES □

১. রূপার আপেক্ষিক পারমাণবিক ভর = 108 এবং তড়িৎ-রাসায়নিক তুল্যাঙ্ক = 1.118 mg/C. নিকেলের আপেক্ষিক পারমাণবিক ভর = 59; নিকেলের যোজ্যতা 2. নিকেলের তড়িৎ-রাসায়নিক তুল্যাঙ্ক নির্ণয় করো।

উঃ। আমরা লিখতে পারি, $\frac{Z_{Ag}}{Z_{Ni}} = \frac{(C.E)_{Ag}}{(C.E)_{Ni}}$

রাসায়নিক তুল্যাঙ্ক = $\frac{\text{আঃ পারমাণবিক ভর}}{\text{যোজ্যতা}}$

$(C.E)_{Ag} = \frac{108}{1} = 108$; আবার, $(C.E)_{Ni} = \frac{59}{2}$.

অতএব, $\frac{1.118}{Z_{Ni}} = \frac{108 \times 2}{59}$ অথবা $Z_{Ni} = \frac{1.118 \times 59}{108 \times 2} = 0.305 \text{ mg/C.}$

২. 1 A প্রবাহমাত্রা কপারের সালফেট দ্রবণ হতে 33 মিনিটে 0.65 g তামা মুক্ত করে। তামার পারমাণবিক ওজন 63 এবং যোজ্যতা 2; হাইড্রোজেনের তড়িৎ-রাসায়নিক তুল্যাঙ্ক নির্ণয় করো।

উঃ। তড়িৎবিশ্লেষণের ক্ষেত্রে আমরা জানি, $W = Z \cdot i \cdot t$

কপারের বেলায় $W = 0.65 \text{ g}$; $i = 1 \text{ A}$; $t = 33 \text{ mmt} = 33 \times 60 \text{ s}$

অতএব, $0.65 = Z_{cu} \times 1 \times 33 \times 60$

$\therefore Z_{cu} = \frac{0.65}{33 \times 60} = 3.28 \times 10^{-4} \text{ g/C}$

আবার, কপারের রাসায়নিক তুল্যাঙ্ক $(C.E)_{cu} = \frac{\text{তামার পারমাণবিক ওজন}}{\text{যোজ্যতা}} = \frac{63}{2} = 31.5$

আবার, $Z_{cu} = (C.E)_{cu} \times Z_H$ [Z_H হাইড্রোজেনের তড়িৎ-রাসায়নিক তুল্যাঙ্ক]

অথবা, $3.28 \times 10^{-4} = 31.5 \times Z_H$

$\therefore Z_H = \frac{3.28 \times 10^{-4}}{31.5} = 1.03 \times 10^{-5} \text{ g/C.}$

□ কয়েকটি মৌলের তড়িৎ-রাসায়নিক তুল্যাঙ্ক □

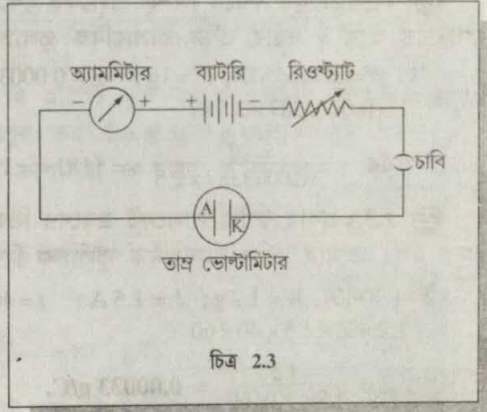
মৌল	E.C.E. (g/C এককে)	E.C.E. (kg/C এককে) (S.I.)	E.C.E. (g/emu এককে)
হাইড্রোজেন	1.04×10^{-5}	1.04×10^{-8}	1.04×10^{-4}
তামা	3.29×10^{-4}	3.29×10^{-7}	3.29×10^{-2}
রূপা	1.118×10^{-3}	1.118×10^{-6}	1.118×10^{-2}
দস্তা	3.387×10^{-4}	3.387×10^{-7}	3.387×10^{-3}
অক্সিজেন	8.29×10^{-5}	8.29×10^{-8}	3.29×10^{-4}

2.7.

ফ্যারাডের সূত্রাবলির পরীক্ষামূলক প্রমাণ

(Experimental verification of Faraday's laws):

প্রথম সূত্র : একটি তাম্র-ভোল্টামিটার নাও এবং তাকে একটি রিওস্ট্যাট, অ্যামিটার, একটি প্লাগ চাবি ও একটি তড়িৎ কোশের ব্যাটারির সাথে শ্রেণি সমবায়ে যুক্ত কর (2.3 নং চিত্র)। ব্যাটারি থেকে তড়িৎ প্রবাহ নেবার আগে তাম্র ভোল্টামিটার হতে ক্যাথোড পাত (K) তুলে নিয়ে পরিষ্কার কর ও শুষ্ক অবস্থায় তার ওজন নির্ণয় কর। রিওস্ট্যাটের মান এরূপভাবে নিয়ন্ত্রিত কর যাতে ক্যাথোড পাতের প্রতি 50 cm^2 ক্ষেত্রফল এক অ্যাম্পিয়ার প্রবাহমাত্রা যায়। এবার ক্যাথোড পাত যথাস্থানে রেখে ভোল্টামিটার দিয়ে তড়িৎ প্রবাহ পাঠাও। ধর, I_1 অ্যাম্পিয়ার প্রবাহমাত্রা t_1 সেকেন্ড ধরে চালানো হল। অ্যামিটার হতে এই প্রবাহমাত্রা ও স্টপঘড়ি হতে সময় নির্ণয় করতে হবে। অতঃপর পাতকে



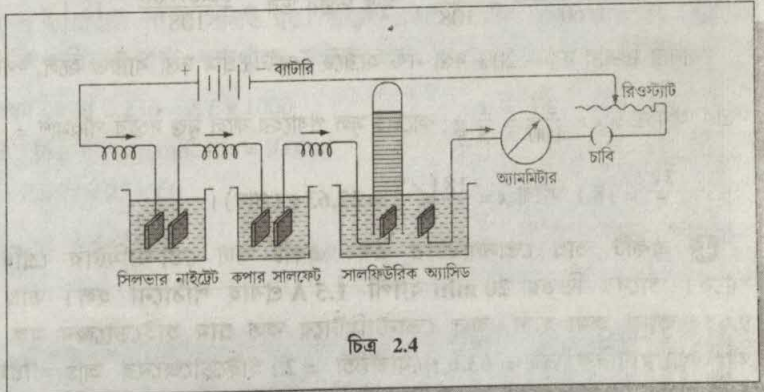
চিত্র 2.3

তুলে পরিষ্কার জলে ধুয়ে ফেল এবং শুষ্ক করে পুনরায় ওজন নাও। এই দুই ওজন থেকে মুক্ত তামার ভর পাওয়া যাবে। ধর, এটা W_1 গ্রাম; পুনরায় পাতকে যথাস্থানে রেখে পূর্বের প্রবাহমাত্রা ভিন্ন সময় t_2 সেকেন্ড ব্যাপী পাঠাও। পূর্বের ন্যায় মুক্ত তামার ভর নির্ণয় কর। ধর, এই ওজন W_2 গ্রাম।

$$\text{দেখা যাবে, } \frac{W_1}{W_2} = \frac{I_1 \times t_1}{I_2 \times t_2} = \frac{Q_1}{Q_2} \text{ অর্থাৎ, } W \propto Q.$$

দ্বিতীয় সূত্র : এবার তিনটি ভোল্টামিটার—রৌপ্য, তাম্র ও জল ভোল্টামিটার—ব্যাটারি, অ্যামিটার,

রিওস্ট্যাট ও চাবির সাথে শ্রেণি সমবায়ে যুক্ত কর (2.4 নং চিত্র)। জল ভোল্টামিটারে সালফিউরিক অ্যাসিড মিশ্রিত জল নেওয়া হয়। শ্রেণি সমবায়ে যুক্ত হওয়ায়, প্রত্যেক



চিত্র 2.4

ভোল্টামিটার দিয়ে একই তড়িৎ প্রবাহ চালু থাকবে। এখন, একটি নির্দিষ্ট সময় ব্যাপী ব্যাটারি থেকে তড়িৎ প্রবাহ পাঠাও। এক্ষেত্রে রৌপ্য ও তাম্র ভোল্টামিটারগুলির ক্যাথোডে রূপা এবং তামা ও জল ভোল্টামিটারের অ্যানোডে অক্সিজেন জমা হবে। পূর্বের মত মুক্ত রূপা ও তামার ভর নির্ণয় কর এবং অক্সিজেনের বেলাতে, প্রমাণ তাপমাত্রা ও চাপে গ্যাসের আয়তন নির্ণয় করে তার ভর হিসাব কর। যদি মুক্ত রূপা, তামা ও অক্সিজেনের ভর যথাক্রমে W_1, W_2, W_3 গ্রাম হয় এবং তাদের রাসায়নিক তুল্যাক্ষের

মান যথাক্রমে C_1, C_2, C_3 হয় তবে, উক্ত পরীক্ষার ফলে দেখা যাবে

$$W_1 : W_2 : W_3 = C_1 : C_2 : C_3 ; \text{এটা দ্বিতীয় সূত্র।}$$

EXAMPLES

1. 1g দস্তা মুক্ত করতে জিঙ্ক সালফেট দ্রবণের ভিতর দিয়ে 2.5A প্রবাহ কতক্ষণের জন্য পাঠাতে হবে? দস্তার তড়িৎ-রাসায়নিক তুল্যাঙ্ক = 0.0003387 g/C.

উঃ। $W = ZIt$ এখানে, $W = 1\text{g}$; $Z = 0.0003387\text{ g/C}$, $I = 2.5\text{A}$

$$\therefore 1 = 0.0003387 \times 2.5 \times t$$

$$\text{অতএব, } t = \frac{1}{0.0003387 \times 2.5} \text{ s} = 1181 \text{ s} = 19 \text{ min } 41 \text{ s.}$$

2. 1.5A প্রবাহ কপার সালফেট দ্রবণের ভিতর 40 min ব্যাপী চালু থাকলে, 1.2 g তামা মুক্ত হয়। তামার তড়িৎ-রাসায়নিক তুল্যাঙ্ক নির্ণয় করো।

উঃ। এখানে, $W = 1.2\text{ g}$; $I = 1.5\text{ A}$; $t = 40 \times 60 \text{ s}$

$$\therefore 1.2 = Z \times 1.5 \times 40 \times 60$$

$$\text{বা, } Z = \frac{1.2}{1.5 \times 40 \times 60} = 0.00033 \text{ g/C.}$$

3. একটি ব্যাটারি প্রদত্ত তড়িৎ প্রবাহ সিলভার নাইট্রেট দ্রবণ হতে 60 g রূপা মুক্ত করলে ঐ ব্যাটারিতে কত দস্তা ব্যয়িত হবে যদি স্থানীয় ক্রিয়ার দ্রবন 20% দস্তা নষ্ট হয়? রূপার রাসায়নিক তুল্যাঙ্ক = 108 এবং দস্তা = 32.6.

উঃ। তড়িৎ প্রবাহ ব্যাটারির ভিতর দিয়ে যাবার ফলে, ব্যাটারি হতে দস্তা মুক্ত হবে।

এখন, ফ্যারাডের দ্বিতীয় সূত্র হতে লেখা যায়, $\frac{\text{মুক্ত দস্তার ভর}}{\text{রূপার ভর}} = \frac{\text{দস্তার রাসায়নিক তুল্যাঙ্ক}}{\text{রূপার রাসায়নিক তুল্যাঙ্ক}}$

$$\text{অতএব, } \frac{\text{মুক্ত দস্তার ভর}}{60} = \frac{32.6}{108} \therefore \text{মুক্ত দস্তার ভর} = \frac{32.6 \times 60}{108} = 18.1 \text{ g}$$

স্থানীয় ক্রিয়ার দ্রবন 20% দস্তা নষ্ট হয়েছে। মোট x গ্রাম দস্তা ব্যয়িত হলে, স্থানীয় ক্রিয়ার জন্য

$$\text{দস্তার অপচয়} = x \times \frac{20}{100} = \frac{x}{5} \text{ g}; \text{ কাজেই মূল প্রবাহের ফলে মুক্ত দস্তার পরিমাণ} = \left(x - \frac{x}{5}\right) = \frac{4x}{5} \text{ g}$$

$$\therefore \frac{4x}{5} = 18.1 \text{ অথবা } x = \frac{18.1 \times 5}{4} = 22.63 \text{ g (প্রায়).}$$

4. একটি তাম্র ভোল্টামিটার এবং একটি জল ভোল্টামিটার শ্রেণি সমবায়ে যুক্ত আছে। তাদের ভিতর 20 min ব্যাপী 1.5 A প্রবাহ পাঠানো হল। তাম্র ভোল্টামিটারে 9.63 g তাম্র জমা হলে, জল ভোল্টামিটারে কত গ্রাম হাইড্রোজেন মুক্ত হবে? তাম্রের আঃ পারমাণবিক ভর = 63.6; যোজ্যতা = 2; হাইড্রোজেনের আঃ পারমাণবিক ভর = 1.008 এবং যোজ্যতা = 1।

উঃ। একই প্রবাহমাত্রা একই সময় ব্যাপী দুই ভোল্টামিটারে যাওয়ায়, ফ্যারাডের দ্বিতীয় সূত্র হতে

$$\text{লেখা যায়, } \frac{W_{\text{Cu}}}{W_{\text{H}}} = \frac{C_{\text{Cu}}}{C_{\text{H}}} \text{ এখানে, } W_{\text{Cu}} \text{ এবং } C_{\text{Cu}} \text{ যথাক্রমে মুক্ত তাম্রের আয়নের ভর এবং রাসায়নিক}$$

তুল্যাঙ্ক; অনুরূপভাবে W_{H} এবং C_{H} মুক্ত হাইড্রোজেন আয়নের ভর এবং রাসায়নিক তুল্যাঙ্ক। কিন্তু,

$$C_{Cu} = \frac{\text{তামার আঃ পারমাণবিক ভর}}{\text{যোজ্যতা}} = \frac{63.6}{2} \text{ এবং } C_H = \frac{\text{হাইড্রোজেনের আঃ পারমাণবিক ভর}}{\text{যোজ্যতা}} = 1.008$$

$$\text{অতএব, } \frac{0.636}{W_H} = \frac{63.6}{2} \times \frac{1}{1.008} \therefore W_H = \frac{0.636 \times 2 \times 1.008}{63.6} = 0.02 \text{ g (প্রায়)}.$$

5. 20 cm^3 হাইড্রোজেন (প্রমাণ তাপমাত্রা ও চাপে) মুক্ত করতে 3 মিনিট ব্যাপী 1 A প্রবাহ পাঠানো প্রয়োজন। হাইড্রোজেন পরমাণুর ভর $1.6 \times 10^{-24} \text{ g}$ হলে, কুলম্ব এককে ইলেকট্রনের তড়িতাধান নির্ধারণ করো। প্রমাণ তাপমাত্রা ও চাপে হাইড্রোজেনের ঘনত্ব $= 9 \times 10^{-5} \text{ g/cm}^3$.

$$\text{উঃ মুক্ত হাইড্রোজেনের ভর (W) = আয়তন} \times \text{ঘনত্ব} = 20 \times 9 \times 10^{-5} \text{ g}.$$

$$\text{প্রয়োজনীয় সময়} = 3 \text{ মিনিট} = 180 \text{ s}.$$

$$\text{এখন, } W = Z_H \cdot I \cdot t. \therefore Z_H = \frac{W}{I \cdot t} = \frac{20 \times 9 \times 10^{-5}}{1 \times 180} = 10^{-5} \text{ g/C}.$$

মনেকর, ইলেকট্রনের তড়িতাধান $= e \text{ coulomb}$; যেহেতু হাইড্রোজেনের যোজ্যতা 1 সেইহেতু প্রত্যেক হাইড্রোজেন আয়নের তড়িতাধান $= e \text{ coulomb}$; এখন, তড়িৎ-রাসায়নিক তুল্যাকের সংজ্ঞা হতে বলা যায় যে 1 coulomb তড়িতাধান $Z_H \text{ g}$ হাইড্রোজেন মুক্ত করে। অতএব, $e \text{ coulomb}$ মুক্ত করবে $e Z_H \text{ g}$; আবার, $e \text{ coulomb}$ তড়িতাধান 1 হাইড্রোজেন পরমাণু অর্থাৎ $1.6 \times 10^{-24} \text{ g}$ হাইড্রোজেন মুক্ত করে। অতএব, $e \cdot Z_H = 1.6 \times 10^{-24}$.

$$\therefore e = \frac{1.6 \times 10^{-24}}{Z_H} = \frac{1.6 \times 10^{-24}}{10^{-5}} = 1.6 \times 10^{-19} \text{ C}.$$

6. একটি রৌপ্য ভোল্টামিটারের মধ্য দিয়ে 16 mnt 40 s যাবৎ তড়িৎ প্রবাহ চালানার ফলে 2 g 236 mg রূপা ক্যাথোড পাতে সঞ্চিত হয়। তড়িৎ প্রবাহের মান দ্বিগুণ করে 25 mnt তা চালনা করলে কি পরিমাণ রূপা ক্যাথোডে সঞ্চিত হবে?

$$\text{উঃ } W = Z \cdot I \cdot t. \text{ প্রথম ক্ষেত্রে } 2.236 = Z \cdot I \cdot 1000$$

$$[2 \text{ g}, 236 \text{ mg} = 2.236 \text{ g এবং } 16 \text{ mnt } 40 \text{ s} = 1000 \text{ s}]$$

$$\text{দ্বিতীয় ক্ষেত্রে } W = Z \times 2I \times 25 \times 60$$

$$\text{ভাগ দিলে, } \frac{W}{2.236} = \frac{2 \times 25 \times 60}{1000} \therefore W = 6.708 \text{ g} = 6 \text{ g } 708 \text{ mg}.$$

2.8.

তড়িদ বিশ্লেষণের পরিপ্রেক্ষিতে অ্যাম্পিয়ারের সংজ্ঞা (Definition of ampere according to electrolysis):

1910 খ্রিস্টাব্দে এক আন্তর্জাতিক কমিটি তড়িৎ প্রবাহের ব্যবহারিক এককের একটি সংজ্ঞা স্থির করেন। এই সংজ্ঞার ভিত্তি হল রৌপ্য ভোল্টামিটারে তড়িৎ-বিশ্লেষণ পদ্ধতিতে রূপার বিন্যাস (deposit) করণ। এই একক-কে আন্তর্জাতিক অ্যাম্পিয়ার বলা হয় এবং A অক্ষর দ্বারা বুঝানো হয়। সংজ্ঞাটি নিম্নরূপ:

যে স্থির তড়িৎ-প্রবাহ (steady current) রৌপ্য ভোল্টামিটারে পাঠালে ক্যাথোড প্লেটে 1 সেকেন্ডে 0.001118 g রূপা বিন্যাস করবে, তাকে 1 আন্তর্জাতিক অ্যাম্পিয়ার বলা হবে। এস.আই. পদ্ধতিতেও তড়িৎ প্রবাহের একক অ্যাম্পিয়ার; তবে তার সংজ্ঞা অন্যরূপ।

2.9.

ফ্যারাডে এবং অ্যাভোগাড্রো সংখ্যা (Faraday and Avogadro number) :

(i) ফ্যারাডে তড়িতাধানের একটি একক। তড়িদ্বেশ্লেষণ সংক্রান্ত ফ্যারাডের প্রথম সূত্র হতে আমরা জানি যে-কোন মৌলের তড়িৎ-রাসায়নিক তুল্যাঙ্ক Z g/C হলে, 1 কুলম্ব তড়িতাধান ওই মৌলের Z g মুক্ত করবে। কাজেই, ওই মৌলের রাসায়নিক তুল্যাঙ্ক (C) পরিমাণ ভর মুক্ত করিতে যে তড়িতাধানের (Q) প্রয়োজন হবে কুলম্বে তা

$$Q = \frac{\text{ওই মৌলের রাসায়নিক তুল্যাঙ্ক}}{Z} = \frac{C}{Z}$$

এখন, যে-কোনো দুটি মৌলের বেলায় আমরা জানি, $\frac{C_1}{C_2} = \frac{Z_1}{Z_2}$ [2.6 (ii) সমীকরণ]

অথবা, $\frac{C_1}{Z_1} = \frac{C_2}{Z_2}$ অর্থাৎ, $\frac{C}{Z} = \text{ধ্রুবক}$ । সুতরাং Q ধ্রুবক।

কাজেই, বলা যায় রাসায়নিক তুল্যাঙ্ক পরিমাণ ভর মুক্ত করিতে যে তড়িতাধান প্রয়োজন, সকল মৌলের বেলায় তা সমান।

সংজ্ঞা : যে-কোনো মৌলের তড়িদ্বেশ্লেষণ প্রক্রিয়ায় 1 রাসায়নিক তুল্যাঙ্ক পরিমাণ (অথবা 1 গ্রাম তুল্যাঙ্ক) ভর মুক্ত করিতে যে তড়িতাধানের প্রয়োজন হয়, তাকে এক ফ্যারাডে বলা হয়।

বিকল্প সংজ্ঞাস্বরূপ বলা যায়, যে পরিমাণ তড়িতাধান কোন একযোজী মৌলের এক মোল পরিমাণ ভর মুক্ত করবে তাই 1 ফ্যারাডে।

উদাহরণস্বরূপ রূপার কথা বিবেচনা করা যায়। রূপার তড়িৎ-রাসায়নিক তুল্যাঙ্ক 0.001118 g/coulomb এবং রাসায়নিক তুল্যাঙ্ক 107.87 ; অতএব, 107.87 g রূপা মুক্ত করিতে প্রয়োজনীয় তড়িতাধান

$$= \frac{107.87}{0.001118} = 96490 \text{ coulomb (প্রায়)}।$$

এইভাবে হিসাব করলে দেখা যাবে হাইড্রোজেন, তামা, দস্তা প্রভৃতি যে-কোনো মৌলের রাসায়নিক তুল্যাঙ্ক পরিমাণ ভর মুক্ত করিতে একই পরিমাণ অর্থাৎ 96490 কুলম্ব তড়িতাধান লাগছে। এই পরিমাণ তড়িতাধানকে 1 ফ্যারাডে বলা হয়।

$$\therefore 1 \text{ faraday} = 96490 \text{ coulomb}$$

সাধারণত 1 ফ্যারাডে = 96500 কুলম্ব ধরা হয়।

(ii) অ্যাভোগাড্রো সংখ্যা :

(a) কোনো মৌলের যোজ্যতা x হলে, ওই পদার্থের এক গ্রাম পরমাণু $= x \times$ রাসায়নিক তুল্যাঙ্ক। রূপার বেলায় $x = 1$, অতএব, রূপার এক গ্রাম পরমাণু = রূপার রাসায়নিক তুল্যাঙ্ক। রূপার বেলায় আমরা দেখলাম যে এক গ্রাম পরমাণু অর্থাৎ এক মোল পরিমাণ রূপার পরমাণুগুলি মোট 96490 কুলম্ব তড়িতাধান বহন করে। রূপার যোজ্যতা 1 হওয়ায়, প্রত্যেক রূপার পরমাণু এক ইলেকট্রনের তড়িতাধান (e) বহন করে। এখন ইলেকট্রনের তড়িতাধান $e = 1.6 \times 10^{-19} \text{ coulomb}$ ।

$$\therefore 1 \text{ মোল পরমাণুর সংখ্যা} = \frac{96490}{1.6 \times 10^{-19}} = 6.03 \times 10^{23} \text{ (প্রায়)}।$$

যে-কোনো মৌলের বেলায় এইরূপ হিসাব করলে দেখা যাবে যে প্রত্যেক মোল পদার্থের 1 মোলে সমসংখ্যক পরমাণু আছে এবং ঐ সংখ্যা হবে 6.03×10^{23} ; অতএব, এটি একটি ধ্রুব সংখ্যা।

একেই বলা হয় অ্যাভোগাড্রো সংখ্যা (N_A)।

লক্ষ্য করার বিষয় যে 1 মোল ইলেকট্রনের মোট তড়িৎ আধান 96490 coulomb অথবা $e \cdot N_A = F$ ।

(b) আমরা দেখলাম যে, কোন মৌলের রাসায়নিক তুল্যাঙ্ক C এবং তড়িৎ-রাসায়নিক তুল্যাঙ্ক Z হলে $\frac{C}{Z} = \text{ধ্রুবক} = 1 \text{ ফ্যারাডে} = 96490 \text{ কুলম্ব}$ ।

$$\therefore Z = \frac{C}{96490}$$

মৌলের রাসায়নিক তুল্যাঙ্ক

$$\text{এতএব, মৌলের তড়িৎ-রাসায়নিক তুল্যাঙ্ক} = \frac{\text{মৌলের রাসায়নিক তুল্যাঙ্ক}}{96490}$$

এটি একটি প্রয়োজনীয় সম্পর্ক। প্রায়ই মৌলের তড়িৎ-রাসায়নিক তুল্যাঙ্ক নির্ণয়ে উপরোক্ত সম্পর্ক ব্যবহার করা হয়।

□ EXAMPLES □

1. রূপার তড়িৎ-রাসায়নিক তুল্যাঙ্ক $1.118 \times 10^{-3} \text{ g/coulomb}$ এবং আপেক্ষিক পারমাণবিক ভর 108. এথেকে হাইড্রোজেন আয়নের (প্রোটন) তড়িৎ আধান ও ভরের অনুপাত নির্ণয় কর। রূপা একযোজী।

উঃ সংজ্ঞা অনুযায়ী রূপার তড়িৎ-রাসায়নিক তুল্যাঙ্ক Z হবে 1 coulomb তড়িৎ দ্বারা বিমুক্ত $Z \text{ g}$ রূপা। যেহেতু রূপা একযোজী সেইহেতু প্রত্যেকটি রূপার আয়ন একটি প্রোটনের সমপরিমাণ পজিটিভ তড়িৎ (অর্থাৎ, e কুলম্ব) বহন করবে।

অ্যাভোগাড্রো সংখ্যা অনুযায়ী, এক গ্রাম-পরিমাণ রূপায় অর্থাৎ 108 g-রূপাতে N_A সংখ্যক পরিমাণ আছে। কাজেই 1 coulomb তড়িৎ গেলে যে সংখ্যক রূপার আয়ন বিমুক্ত হবে তা $\frac{Z \cdot N_A}{108}$; অতএব,

$$\text{প্রত্যেক আয়নের তড়িৎ আধান } e = \frac{1}{\frac{Z \cdot N_A}{108}} = \frac{108}{Z \cdot N_A} \text{ কুলম্ব}।$$

আবার, 1 গ্রাম-পরিমাণ অর্থাৎ 1 g হাইড্রোজেনেও N_A সংখ্যক পরিমাণ আছে; অতএব, একটি হাইড্রোজেন পরিমাণের ভর $M_H = \frac{1}{N_A} \text{ g}$ ।

$$\therefore \frac{\text{প্রোটনের তড়িৎ আধান } (e)}{\text{প্রোটনের ভর } (M_H)} = \frac{108 \times N_A}{Z \times N_A} = \frac{108}{Z} = \frac{108}{1.118 \times 10^{-3}}$$

2. যদি 96490 C তড়িৎ আধান যে-কোনো মৌলের এক গ্রাম-তুল্যাঙ্ক পরিমাণ আয়ন মুক্ত করে, তবে 0.15 A প্রবাহ কত সময়ে কপার সালফেট দ্রবণ হতে 20 mg তামা বৃদ্ধ করিবে? তামার রাসায়নিক তুল্যাঙ্ক = 32.

$$\text{উঃ } 1 \text{ ফ্যারাডে অর্থাৎ } 96,490 = \frac{\text{রাসায়নিক তুল্যাঙ্ক}}{Z} = \frac{32}{Z_{Cu}}$$

$$\therefore Z_{Cu} = \frac{32}{96490} \text{ g / coulomb}; W = 20 \text{ mg} = 20 \times 10^{-3} \text{ g}$$

$$\text{এখন, } W = Z_{Cu} \cdot I \cdot t \text{ বা } 20 \times 10^{-3} = \frac{32}{96490} \times 0.15 \times t$$

$$\therefore t = \frac{20 \times 10^{-3} \times 96490}{0.15 \times 32} \text{ s} = 402 \text{ s} = 6 \text{ mint. } 42 \text{ s. (প্রায়)}।$$

2.10.

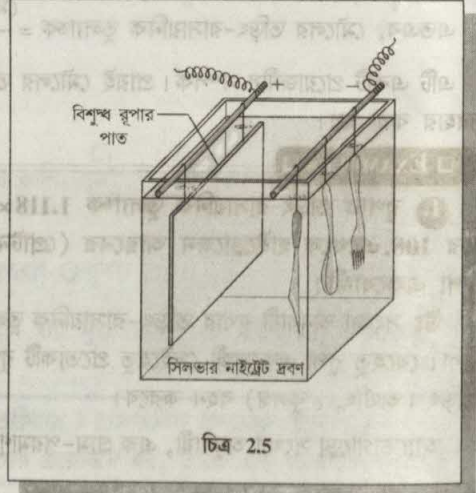
তড়িৎবিশ্লেষণের ব্যবহারিক প্রয়োগ

(Practical applications of electrolysis) :

নানা শিল্পকর্মে তড়িৎবিশ্লেষণের ব্যবহারিক প্রয়োগ দেখতে পাওয়া যায়। নিম্নে এদের সম্বন্ধে সংক্ষেপে আলোচনা করা হল।

(i) তড়িৎ প্রলেপন (Electroplating) : এই প্রক্রিয়ার দ্বারা কাঁটা, ছুরি, চামচ, বোতাম, বিভিন্ন যন্ত্রপাতির অংশ প্রভৃতির উপর নানারকম ধাতু—যেমন, সোনা, রূপা, নিকেল প্রভৃতির প্রলেপ দেওয়া হয়। এতে জিনিসগুলি চকচকে এবং সুন্দর দেখায়। ছুরি, কাঁটা প্রভৃতি যেসকল দ্রব্যে প্রলেপ দিতে হবে সেগুলি একটি পরিবাহী দণ্ড হতে একটি বাস্তুর ভেতর ঝুলানো থাকে। বাস্তুর ভিতর রূপা, সোনা প্রভৃতি যার প্রলেপ দিতে হবে তার দ্রবণ থাকে। অপর একটি পরিবাহী দণ্ড হতে প্রলেপ অনুযায়ী বিশুদ্ধ রূপা বা তামার একটি প্লেট ঝুলানো থাকে। দণ্ড দুটির সাথে তড়িৎ কোশ লাগিয়ে তড়িৎ প্রবাহ চালালে ঝুলন্ত জিনিসগুলির ওপর প্রলেপ পড়ে যাবে (2.5 নং চিত্র)।

এইভাবে লোহার ওপর জিঙ্কের প্রলেপ দিলে বলা হয় গ্যালভানাইজড লোহা।



(ii) ইলেকট্রোটাইপিং (Electrotyping) : এটি ইলেকট্রোপ্লেটিং-এর এক বিশেষ পদ্ধতি। সে সকল পুস্তক বা লেখা বহু কপি ছাপাতে হয় তা সাধারণত ইলেকট্রোটাইপিং প্লেট হতে ছাপানো হয়। প্রথমে লেখাটি সাধারণ টাইপে কম্পোজ করা হয় এবং মোমের ওপর তার একটি ছাপ নেওয়া হয়। তার ওপরে গ্রাফাইট গুঁড়ো ছাড়িয়ে একে তড়িৎ পরিবাহী করা হয়। অতঃপর একটি তুঁতের দ্রবণে একে ক্যাথোড পাত হিসাবে ঝুলানো হয় এবং অ্যানোড পাত হিসাবে তামার একটি প্লেট ব্যবহার করা হয়। তড়িৎ প্রবাহ চালালে মোমের ছাঁচের ওপরে তামা জমবে। তামা খানিকটা পুরু হলে ছাঁচ থেকে তাকে ছাড়িয়ে নেওয়া হয়। এর সাহায্যে লেখাটির বহু কপি ছাপানো যায়। একই পদ্ধতিতে গ্রামোফোনের রেকর্ড তৈরি করা হয়।

(iii) অ্যানোডাইজকরণ (Anodising) : এই পদ্ধতিতে ধাতব পদার্থের উপরতলে অক্সাইডের প্রলেপ দেওয়া হয়। তড়িৎ-বিশ্লেষ্যের ভিতর ধাতব বস্তুকে নিমজ্জিত করে একে অ্যানোড হিসাবে ব্যবহার করা হয়। এই প্রলেপ ধাতব বস্তুকে বায়ু দ্বারা ক্ষয়ক্ষতি হতে রক্ষা করে।

(iv) ধাতু নিষ্কাশন ও শোধন (Extraction and purification of metal) :

অ্যালুমিনিয়াম, সোডিয়াম, পটাশিয়াম প্রভৃতি ধাতু নিষ্কাশনে এবং কস্টিক পটাশ প্রভৃতি রাসায়নিক দ্রব্যটি প্রস্তুতিতে তড়িৎবিশ্লেষণ পদ্ধতির ব্যাপক ব্যবহার দেখতে পাওয়া যায়। তাছাড়া তামা, দস্তা, প্রভৃতি ধাতু আকরিক হতে নিষ্কাশনের পর শোধন করার জন্যও তড়িৎবিশ্লেষণ পদ্ধতি কাজে লাগানো হয়। এ সম্পর্কে রাসায়নের যে-কোনো পাঠ্য-পুস্তকে বিশদ বিবরণ পাওয়া যাবে।

□ EXAMPLES □

1. 10 cm^2 প্রস্থচ্ছেদের একটি প্লেটের উভয় দিকে 0.001 cm পুরু তামার প্রলেপ দিতে হবে। এই উদ্দেশ্যে 12 volt -এর একটি ব্যাটারি ব্যবহার করা হল। তামার প্রলেপন পদ্ধতিতে ব্যাটারি কত শক্তি ব্যয় করল হিসাব করো। তামার ঘনত্ব $= 9 \text{ g/cm}^3$, তামার তড়িৎ-রাসায়নিক তুল্যাঙ্ক $= 3 \times 10^{-4} \text{ g/C}$.

[Jt. Entrance 1999]

উঃ যেহেতু প্লেটের উভয় দিকে প্রলেপ দিতে হবে সেইহেতু কার্যকর ক্ষেত্রফল = $10 + 10 = 20 \text{ cm}^2$.
মুক্ত তামার ভর $W = \text{ক্ষেত্রফল} \times \text{বেধ} \times \text{ঘনত্ব} = 20 \times 0.001 \times 9 = 0.18 \text{ g}$.

$$\text{ফ্যারাডের সূত্র হতে পাই, তড়িতাধান } Q = \frac{W}{Z} = \frac{0.18}{3 \times 10^{-4}} = 600 \text{ coulomb}$$

∴ ব্যয়িত তড়িৎশক্তি = ভোল্ট \times কুলম্ব = $12 \times 600 = 7200 \text{ joule}$.

২. একজন তড়িৎ-প্রলেপন ব্যবসায়ী 1000টি খালাতে তড়িৎ-প্রলেপনের কাজ পেল। প্রত্যেকটি খালার ভর 109.44 g এবং 10 ঘণ্টায় সমস্ত কাজটি এরূপভাবে শেষ করতে হবে যে প্রত্যেকটি খালায় যেন তার ভরের 0.1% নিকেল প্রলেপ পড়ে। নির্দিষ্ট সময়ে কাজ শেষ করতে যে পরিমাণ তড়িৎ প্রবাহ প্রয়োজন হিসাবমত এই ব্যবসায়ী এই তড়িৎ প্রবাহ নিয়ে কাজ আরম্ভ করল। কিন্তু চারঘণ্টা কাজের পর তড়িৎ প্রলেপন যন্ত্রকে 1 ঘণ্টা বন্ধ রাখতে হল। নির্দিষ্ট সময়ে কাজটি শেষ করতে তড়িৎ প্রবাহমাত্রা কতখানি বৃদ্ধি করতে হবে তা নির্ণয় কর। নিকেলের E.C.E. = $3.04 \times 10^{-4} \text{ g/C}$.

$$\text{উঃ মোট যে-পরিমাণ নিকেল জমা করতে হবে তা} = 1000 \times \left(109.44 \times \frac{0.1}{100} \right) = 109.44 \text{ g}.$$

এই পরিমাণ নিকেল 10 ঘণ্টার জমা করতে যে তড়িৎ প্রবাহের প্রয়োজন তা $W = Z \cdot i \cdot t$ [Z = নিকেলের E.C.E.]

$$\text{অথবা, } 109.44 = 3.04 \times 10^{-4} \times i \times 10 \times 3600$$

$$\text{অথবা, } i = \frac{109.44}{3.04 \times 10^{-4} \times 10 \times 3600} = 10 \text{ A}$$

এই প্রবাহমাত্রায় যন্ত্র প্রথম 4 ঘণ্টা কাজ করল। এই সময়ে যে পরিমাণ নিকেল জমা হল তা,
 $W_1 = Z \cdot i \cdot t = 3.04 \times 10^{-4} \times 10 \times 4 \times 3600 = 43.776 \text{ g}$.

অতএব, বাকি $[10 - (4 + 1)] = 5$ ঘণ্টায় [1 ঘণ্টা যন্ত্র বন্ধ ছিল] যে পরিমাণ নিকেল জমা করতে হবে তা = $109.44 - 43.776 = 65.664 \text{ g}$ । যদি i_1 প্রবাহমাত্রা প্রয়োজন হয়, তবে $W = Z \cdot i_1 \cdot t$.

$$\text{অথবা, } 65.664 = 3.04 \times 10^{-4} \times i_1 \times 5 \times 3600$$

$$\therefore i_1 = \frac{65.664}{3.04 \times 10^{-4} \times 5 \times 3600} = 12 \text{ A}.$$

অতএব, প্রবাহমাত্রা $(12 - 10) = 2 \text{ A}$ বৃদ্ধি করতে হবে।

2.11. মৌল কোশের বিভাগ (Types of primary cells):

যে কোশ বিভিন্ন বস্তুর রাসায়নিক ক্রিয়ার সাহায্যে তড়িৎ প্রবাহ সৃষ্টি করে তাকে মৌল কোশ বলে। এই কোশ শুধু তড়িৎ সরবরাহের জন্য ব্যবহার করা হয়। তড়িৎ প্রবাহ কোশের ধনাত্মক মেরু হতে যাত্রা করে বহিবর্তনীতে যায় এবং ঋণাত্মক মেরু দিয়ে পুনরায় কোশে প্রবেশ করে। আর এক প্রকার কোশ আছে যাকে গৌণ কোশ বলা হয়। গৌণ কোশ যেমন তড়িৎ-প্রবাহ সরবরাহ করে (discharge) তেমনি নিজের ভিতর তড়িৎ প্রবাহ গ্রহণ করে চার্জড (charged) হতে পারে। এই কোশে প্রবাহ দুই অভিমুখেই চলতে পারে।

মৌল কোশের রাসায়নিক বস্তুগুলি তড়িৎপ্রবাহ সরবরাহ করে নিঃশেষ হলে, তাদের ফেলে দিতে হয় এবং নতুন রাসায়নিক বস্তু নিয়ে কোশ পুনরায় গঠন করতে হয়। এই কোশ সাধারণত তিনটি জিনিস

থাকে : (1) পজিটিভ ও নেগেটিভ মেব্রু (pole) অথবা দ্বার (electrode), (2) বিভব-প্রভেদ সৃষ্টিকারী সক্রিয় তরল (active liquid) ও (3) ছদন নিবারক কোন বস্তু (depolariser)।

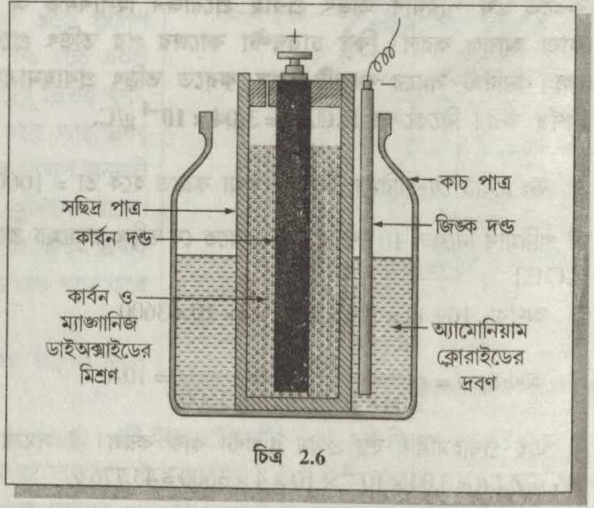
মৌল কোশগুলিকে প্রধানত দু-ভাগে ভাগ করা যায় : যথা—(1) এক তরল (single fluid) ও (2) দুই তরল (double fluid) কোশ।

2.12 → বিভিন্ন এক তরল কোশ (Different single fluid cells):

(ক) লেক্‌ক্ল্যান্স কোশ (Leclanche's cell):

বিবরণ : আনুমানিক 1865 খ্রিস্টাব্দে জর্জেস লেক্‌ক্ল্যান্স এই কোশ উদ্ভাবন করেন। 2.6 নং চিত্রে

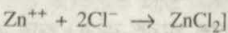
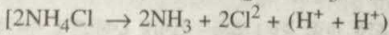
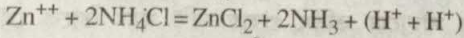
লেক্‌ক্ল্যান্স কোশের নকশা দেখানো হল। একটি কাচপাত্রের ভিতর জলে দ্রবীভূত নিশাদল বা অ্যামোনিয়াম ক্লোরাইডের (NH_4Cl) ঘন দ্রবণ রাখা হয় এবং তার ভিতর পারদের প্রলেপ যুক্ত একটি দস্তার দণ্ড আংশিক ডুবানো থাকে। কাচপাত্রের মাঝখানে অ্যামোনিয়াম ক্লোরাইড দ্রবণের ভিতর একটি সছিদ্র পাত্র রাখা আছে। ঐ পাত্র ম্যাঙ্গানিজ ডাই-অক্সাইড (MnO_2) ও কাঠকয়লার গুঁড়ো (কার্বন) দিয়ে ভরতি। এর ভিতর একটি গ্যাস কার্বন দণ্ড ঢুকানো থাকে। গ্যাস বার হয়ে যাবার জন্য সছিদ্র পাত্রের ওপরের মুখে একটি



সবু নালীপথ (vent) খোলা থাকে। এই কোশে দস্তার দণ্ড নিম্নবিভব অর্থাৎ, নেগেটিভ মেব্রু (-) ও কার্বন দণ্ড উচ্চবিভব অর্থাৎ পজিটিভ মেব্রু (+) গঠন করে। অ্যামোনিয়াম ক্লোরাইড দ্রবণ কোশের বিভব-প্রভেদ সৃষ্টিকারী সক্রিয় তরল ও ম্যাঙ্গানিজ ডাই-অক্সাইড (জারক দ্রব্য) ছদন-নিবারক। এই কোশের তড়িচ্চালক বল প্রায় 1.4 ভোল্ট।

কাচপাত্রের অ্যামোনিয়াম ক্লোরাইড বাষ্পীভূত হবার ফলে ছোটো ছোটো দানা গঠিত হয়। এই দানাগুলি পাত্রের গা বরাবর আটকে থাকে। এটা নিবারণের জন্য পাত্রের ওপরের কিছু অংশ বিশেষ একপ্রকার কালো প্রলেপ দ্বারা আবৃত থাকে। দানাগুলি এই রংয়ের গায়ে আটকে থাকতে পারে না।

কার্যপ্রণালী : দস্তা (Zn) ও NH_4Cl রাসায়নিক ক্রিয়া করে পজিটিভ তড়িৎযুক্ত H^+ আয়ন মুক্ত করে এবং দস্তা নিজে নেগেটিভ তড়িৎযুক্ত হয়।



মুক্ত অ্যামোনিয়াম গ্যাস (NH_3) জলে দ্রবীভূত হয়। ওই দ্রবণ যখন সংপৃক্ত হয়ে পড়ে তখন মুক্ত অ্যামোনিয়াম গ্যাস ওপরের নালীপথে বার হয়ে যায়। H^+ আয়নগুলি কার্বনদণ্ডের দিকে অগ্রসর হবার জন্য সছিদ্র পাত্রে ঢুকে পড়ে এবং নিজস্ব তড়িৎ কার্বন-দণ্ডকে দিয়ে নিসৃত্তিৎ H_2 অণুতে পরিণত হয় (প্রকৃতপক্ষে কার্বন দণ্ড হতে ইলেকট্রন এসে H^+ আয়নকে নিসৃত্তিৎ করে)। তখন MnO_2 ও H_2 -এর ভিতর রাসায়নিক জারণ ক্রিয়া হয়ে H_2 জলে পরিণত হয়। $\text{H}_2 + 2\text{MnO}_2 = \text{Mn}_2\text{O}_3 + \text{H}_2\text{O}$ ।

সুতরাং, হাইড্রোজেন গ্যাস কার্বনদণ্ডে জমতে পারে না এবং ছদনক্রিয়াও হতে পারে না।

এই কোশের সর্বপ্রধান অসুবিধা এই যে MnO_2 ও H_2 -এর ভিতর রাসায়নিক ক্রিয়া এত ধীরে ধীরে হয় যে, গ্যাস আসামাত্র সঙ্গে সঙ্গে জলে পরিণত হয় না। কিছু H_2 গ্যাস থেকে যায়। এই গ্যাস কার্বন দন্ডের ওপর একটি নিত্যতড়িৎ প্রলেপ সৃষ্টি করে। তাই, যখন এই কোশ একটানা কিছুক্ষণ ধরে তড়িৎ প্রবাহ দেয় তখন ছদনক্রিয়া সম্পূর্ণ নিবারণিত হয় না। কিছুক্ষণ কোশকে বিশ্রাম দিলে সঞ্চিত হাইড্রোজেন MnO_2 কর্তৃক ধীরে ধীরে জারিত হয়ে জলে পরিণত হয় এবং কোশ ছদনমুক্ত হয়ে আবার তড়িৎ প্রবাহ দিতে পারে। উপরিউক্ত কারণের জন্য যেখানে বিরতিযুক্ত (intermittent) তড়িৎ প্রবাহ দরকার যেমন, বৈদ্যুতিক ঘন্টা, টেলিগ্রাফ, টেলিফোন ইত্যাদি সেইখানে এই কোশ বেশি ব্যবহৃত হয়। একটানা অনেকক্ষণ তড়িৎ প্রবাহ প্রয়োজন হলে লেকক্ল্যাঙ্গ কোশ কখনও ব্যবহৃত হয় না।

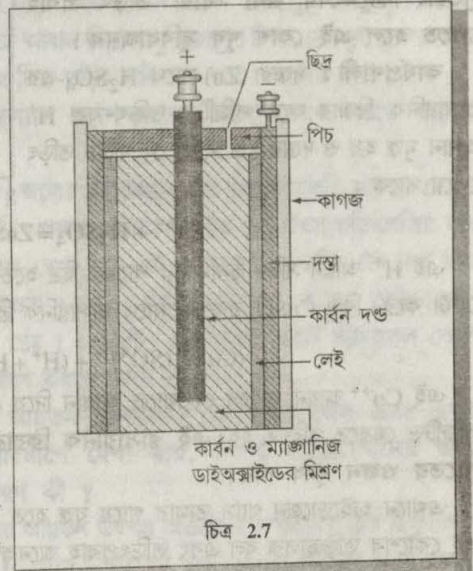
এই কোশের সর্বপ্রধান সুবিধা এই যে, এটি সম্পূর্ণরূপে স্থানীয় ক্রিয়া হতে মুক্ত। তাই, এর পজিটিভ ও নেগেটিভ মেরু যোগ না করে খোলা রেখে দিলে কোনোরূপ ক্ষতি হয় না। তাছাড়া মাঝে মাঝে জল ও অ্যামোনিয়াম ক্লোরাইড দেওয়া ছাড়া এই কোশের আর কোনো যত্ন নেবার প্রয়োজন নেই।

(খ) নির্জল কোশ (Dry cell) :

এটি লেকক্ল্যাঙ্গ কোশেরই মত, শুধু লেকক্ল্যাঙ্গ কোশের তরলের পরিবর্তে এখানে একটি লেই (paste) ব্যবহার করা হয়। এই কারণে একে নির্জল কোশ বলা হয় ; যদিও এটা প্রকৃতপক্ষে নির্জল নয়। চর্চলাইট, রেডিও, ট্রানজিস্টার, কোয়ার্টজ ঘড়ি প্রভৃতি যন্ত্রে তড়িৎ প্রবাহ পাঠাবার জন্য এই কোশের বহুল ব্যবহার দেখা যায়। 2.7 নং চিত্রে একটি নির্জল কোশের ছবি দেখানো হল।

এই কোশে একটি দস্তার চোঙকে ধারক পাত্র ও কোশের নেগেটিভ মেরু হিসাবে ব্যবহার করা হয়। এই পাত্রের মধ্যস্থলে একটি কার্বনদন্ড থাকে। কার্বনদন্ড কোশের পজিটিভ মেরু। কার্বনদন্ডের চতুর্দিকে গুঁড়ো কার্বন ও ম্যাংগানিজ ডাই-অক্সাইডের মিশ্রণ রাখা হয়। এই মিশ্রণ কাগড়ের থলিতে (calico bag) ভর্তি করে রাখা হয়। থলি সছিদ্র পাত্রের কাজ করে। সমস্ত ব্যবস্থাটি একটি দস্তার চোঙের মধ্যে রেখে থলি এবং চোঙের মধ্যবর্তী স্থান একটি লেই (paste) দ্বারা পূর্ণ করা হয়। এই লেই তৈরি করা হয় NH_4Cl দ্রবণ ও ময়দা দ্বারা। NH_4Cl এবং দস্তার ভিতর রাসায়নিক ক্রিয়া হয়ে পজিটিভ হাইড্রোজেন আয়ন মুক্ত হয় এবং ঐ আয়নগুলি থলির ছিদ্র দিয়ে কার্বন দন্ডের দিকে অগ্রসর হয়। কোশের উপরিভাগ বালি, পিচ প্রভৃতি দ্বারা বন্ধ করা থাকে। গ্যাস বার হবার জন্য পিচের মধ্যে একটি ছিদ্র (hole) থাকে। অতঃপর সমস্ত জিনিসটাকে কাগজে মুড়ে বাজারে বিক্রির জন্য দেওয়া হয়।

এই কোশে কোন তরল থাকে না, ওজন হালকা এবং আকারে ছোট ও বহনযোগ্য বলে এই কোশের প্রচুর ব্যবহার আছে। বিভিন্ন তড়িচ্চালক বলের নির্জল কোশ বাজারে পাওয়া যায়।



চিত্র 2.7

2.13.

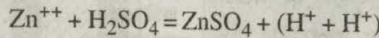
দুই তরল কোশ : ড্যানিয়েল কোশ

(Two fluid cell : Daniel cell) :

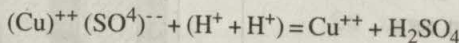
বিবরণ : লন্ডনস্থ কিংস কলেজের রসায়নের অধ্যাপক জন ড্যানিয়েল 1836 খ্রিস্টাব্দে এই কোশ উদ্ভাবন করেন। একটি তামার পাত্রে $CuSO_4$ (কপার সালফেট—তুঁতে) জলে দ্রবীভূত করে একটি সংপৃক্ত

দ্রবণ রাখা হয় (2.8 নং চিত্র)। তামার পাত্রই-কোশের পজিটিভ মেরু হিসাবে ব্যবহৃত হয়। তামার পাত্রের ওপরের দিকের দুটি সছিদ্র তাকে (shelf) কিছু CuSO_4 টুকরো রাখা হয়। এই টুকরোগুলি CuSO_4 দ্রবণের সাথে যুক্ত থাকায় CuSO_4 দ্রবণ সর্বদা সংপৃক্ত (saturated) থাকে। এই দ্রবণের ভিতর একটি সছিদ্র পাথ্রে লবু সালফিউরিক অ্যাসিড রেখে ঐ অ্যাসিডের ভিতর পারদের প্রলেপযুক্ত একটি দস্তার দণ্ড রাখা হয়। দস্তার দণ্ডটি কোশের নেগেটিভ মেরু। সালফিউরিক অ্যাসিড কোশের সক্রিয় তরল ও CuSO_4 দ্রবণ ছদন-নিবারক। এই কোশের তড়িচ্চালক বল 1.1 ভোল্ট এবং মোটামুটি স্থায়ী (constant) থাকে। সুতরাং কিছুক্ষণের জন্য স্থায়ী তড়িৎ প্রবাহ পেতে হলে এই কোশ খুব সুবিধাজনক।

কার্যপ্রণালী : দস্তার (Zn) সাথে H_2SO_4 -এর রাসায়নিক ক্রিয়ার ফলে পজিটিভ তড়িৎ-যুক্ত H^+ আয়ন মুক্ত হয় ও দস্তার দণ্ড নিজে নেগেটিভ তড়িৎ পেয়ে থাকে ;

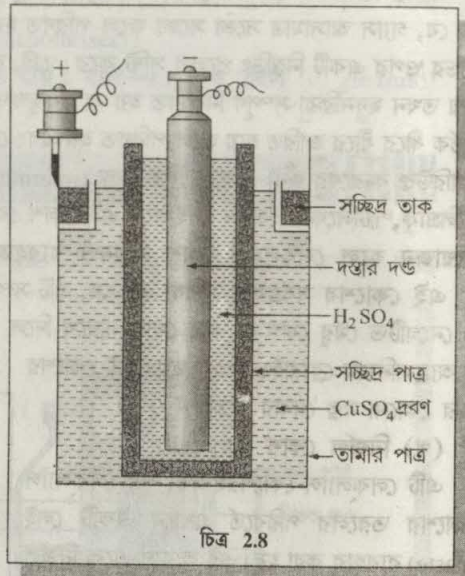


এই H^+ আয়ন সছিদ্র চিনামাটির পাত্রের ছিদ্র হতে বার হয়ে তামার পাত্রের দেওয়ালের দিকে যেতে চেষ্টা করে। কিন্তু CuSO_4 দ্রবণের সাথে রাসায়নিক ক্রিয়ার ফলে পজিটিভ Cu^{++} আয়ন সৃষ্টি হয়।



এই Cu^{++} আয়ন পাত্রের দেওয়ালে আধান দিয়ে দেওয়ালে প্রলিপ্ত হয়। সুতরাং তামার পাত্র নিজে পজিটিভ মেরুতে পরিণত হয়। এই রাসায়নিক ক্রিয়ার ফলে দস্তার ওজন কমে যায় এবং তামার পাত্রের ওজন বৃদ্ধি পায়।

এখানে হাইড্রোজেন গ্যাস তামার গায়ে যুক্ত হতে না পারায় এই কোশ সম্পূর্ণরূপে ছদনমুক্ত। তাই, এই কোশের তড়িচ্চালক বল এবং তড়িৎপ্রবাহ অনেকক্ষণ যাবৎ একই হারে চালু থাকে। যতই কোশের ক্রিয়া হয় ততই দ্রবণ হতে তামা দেওয়ালে প্রলিপ্ত হবার ফলে CuSO_4 লবণ লঘু হতে থাকে। দ্রবণকে সংপৃক্ত রাখার জন্য সছিদ্র তাকে CuSO_4 টুকরো রাখা হয়। এই টুকরোগুলি দ্রবীভূত হয়ে দ্রবণকে লঘু হতে দেয় না। এই কোশের একমাত্র অসুবিধা এই যে, অব্যবহৃত অবস্থায় থাকাকালীন CuSO_4 অণু সছিদ্র পাত্রের ভিতর ঢুকে দস্তার সাথে রাসায়নিক ক্রিয়া করে। ফলে কোশটি নানারূপে ক্ষতিগ্রস্ত হয়। এই জন্য অব্যবহৃত অবস্থায় কোশের বিভিন্ন অংশ পৃথক করে রাখা হয়।



এই পরিচ্ছেদের বিষয়বস্তু সম্পর্কে কয়েকটি প্রশ্ন (Some typical problems of this chapter)

1. তড়িৎ-বিশ্লেষক কোশ ও ভোল্টীয় কোশের পার্থক্য কী ?
- উভয়কেই কোশ নামে অভিহিত করা হলেও মূলত তারা সম্পূর্ণ ভিন্ন যন্ত্র। এদের মধ্যে নিম্নলিখিত পার্থক্য বর্তমান :
 - (a) তড়িৎ-বিশ্লেষক কোশের তড়িৎদ্বার দুটি একই উপাদানে তৈরি হয়। কিন্তু ভোল্টীয় কোশের তড়িৎদ্বার দুটি ভিন্ন উপাদানের দ্বারা তৈরি হয়।

(b) তড়িৎ-বিশ্লেষক কোশে তড়িৎশক্তি রাসায়নিক শক্তিতে রূপান্তরিত হয় কিন্তু ভোল্টীয় কোশে রাসায়নিক শক্তি তড়িৎশক্তিতে রূপান্তরিত হয়।

(c) তড়িৎ-বিশ্লেষক কোশের ক্রিয়া তাপমাত্রার ওপর নির্ভরশীল ; ভোল্টীয় কোশের ক্রিয়া তাপমাত্রার ওপর খুব সামান্যভাবে নির্ভরশীল।

2. বিশুদ্ধ জল তড়িৎ পরিবাহী নয় ; কিন্তু ঐ জলে দু'চার ফোঁটা অ্যাসিড ফেললে, জল তড়িৎ পরিবাহী হয়। কারণ কী ?

● কোন তরল পদার্থে তড়িৎ পরিবহন হয় আয়নের উপস্থিতির ফলে। বিশুদ্ধ জলে কোন আয়ন থাকে না বলে জলের ভিতর দিয়ে তড়িৎ পরিবাহিত হয় না। কিন্তু বিশুদ্ধ জলে দু'চার ফোঁটা সালফিউরিক অ্যাসিড ফেললে, জলের সংস্পর্শে আসামাত্র প্রতিটি অ্যাসিড অণু H^+ আয়ন এবং $(SO_4)^{-}$ আয়নে বিয়োজিত হয় $H_2SO_4 \rightarrow 2(H)^+ + (SO_4)^{-}$; হাইড্রোজেন আয়নগুলি ক্যাথোডে পৌঁছে ক্যাথোড প্লেটে আধান দিয়ে H_2 গ্যাস হিসাবে নির্গত হয়। $(SO_4)^{-}$ আয়নগুলি অ্যানোডে পৌঁছে জল অণুর সাথে বিক্রিয়া করে সালফিউরিক অ্যাসিড অণু এবং $(O)^{-}$ আয়ন গঠন করে। $2(SO_4)^{-} + 2H_2O = H_2SO_4 + 2(O)^{-}$; অক্সিজেন আয়নগুলি অ্যানোডে আধান দিয়ে O_2 গ্যাসরূপে নির্গত হয়। দুই প্রকার আয়নের বিপরীতমুখী চলাচলের ফলে জলের ভেতর দিয়ে তড়িৎ পরিবহন কার্য সম্পাদিত হয়।

3. একটি ড্যানিয়েল কোশ বা একটি লেকক্ল্যান কোশ জলের তড়িদ্বিবেশন করতে পারে না। কারণ কী ?

● ক্যালরিমিতি পর্যালোচনায় জানা যায় যে 1 g জলের বিয়োজনে প্রায় 3800 ক্যালরি তাপের প্রয়োজন। তড়িদ্বিবেশন পদ্ধতিতে যে উৎস জলে তড়িৎ প্রবাহ পাঠায়, স্পষ্টত সেই উৎস তড়িৎশক্তির মাধ্যমে ঐ তাপশক্তি সরবরাহ করে। হিসাব করলে দেখা যায় এই কাজের জন্য তড়িৎ-উৎসের নিম্নতম তড়িচ্চালক বল 1.5 ভোল্টের কাছাকাছি হওয়া দরকার। এখন ড্যানিয়েল কোশের তড়িচ্চালক বল প্রায় 1.1 ভোল্ট এবং লেকক্ল্যান কোশের প্রায় 1.4 ভোল্ট। এই কারণে একটি ড্যানিয়েল কোশ বা একটি লেকক্ল্যান কোশ জলের তড়িদ্বিবেশন করতে পারে না।

4. জলের তড়িদ্বিবেশনে বলা হয় যে, আয়তন হিসাবে দু'ভাগ হাইড্রোজেন এবং একভাগ অক্সিজেন গ্যাস উৎপন্ন হয়। সূক্ষ্ম পরিমাণে দেখা যায়, উৎপন্ন হাইড্রোজেনের আয়তন অক্সিজেনের ঠিক দ্বিগুণ হয় না। কারণ কী ?

● কয়েকটি কারণে উৎপন্ন হাইড্রোজেন গ্যাসের আয়তন উৎপন্ন অক্সিজেন আয়তনের ঠিক দ্বিগুণ হয় না। প্রথমত ক্যাথোড প্লেটে আধান দিয়ে যখন H_2 গ্যাস নির্গত হয় তখন সামান্য পরিমাণ গ্যাস অন্তর্ভুক্তির ফলে শোষিত হয়। দ্বিতীয়ত অ্যানোড প্লেটে O_2 গ্যাস নির্গত হবার সময় সামান্য পরিমাণ গ্যাস ওজোন (O_3) গ্যাসে রূপান্তরিত হয়। তৃতীয়ত, অ্যাসিড মিশ্রিত জলে হাইড্রোজেন এবং অক্সিজেন গ্যাসের দ্রাব্যতা সমান নয়। এই সকল কারণে আয়তনের হিসাব ঠিক 2 : 1 হয় না।

5. চিনির দ্রবণ তড়িদ্বিবেশ্য নয় ; কিন্তু খাদ্যলবণের দ্রবণ তড়িদ্বিবেশ্য। এই পার্থক্যের কারণ কি ?

● কোনো দ্রবণ তড়িদ্বিবেশ্য হতে গেলে দ্রবণ প্রস্তুত করার সময় দ্রাব পদার্থের অণুগুলির বিয়োজন হওয়া প্রয়োজন। চিনি দ্রাব এবং জল দ্রাবক হিসাবে যে চিনির দ্রবণ প্রস্তুত হয় তাতে চিনির অণুগুলি বিয়োজিত হয় না। তাই, ওই দ্রবণকে তড়িদ্বিবেশ্য বলে গণ্য করা হয় না। অপরপক্ষে খাদ্যলবণ ($NaCl$) দ্রাব এবং জল দ্রাবক হিসাবে যে খাদ্য লবণের দ্রবণ পাওয়া যায় তাতে খাদ্য লবণের প্রতি অণু Na^+ এবং Cl^- আয়নে বিয়োজিত হয়। তাই, এই দ্রবণ তড়িদ্বিবেশ্য বলে ধরা হয়। তড়িদ্বিবেশ্য দ্রবণের ভিতর দিয়ে তড়িৎ পরিবহন হয় না। তড়িদ্বিবেশ্য দ্রবণের ভিতর আয়নের উপস্থিতির ফলে তড়িৎ পরিবহন ক্রিয়া সংঘটিত হয়।

6. তড়িদ্বিবেশন পদ্ধতিতে সাধারণত দুটি অ্যানোড ব্যবহার করা হয়। কারণ কি ?

- একটি ক্যাথোড পাতের দুই পাশে দুটি অ্যানোড ব্যবহার করা হলে, তড়িদ্বিচ্ছেষণ প্রক্রিয়ায় ক্যাথোডের দুই পৃষ্ঠে আয়ন সঞ্চিত হবার সুযোগ পায়। এর ফলে সঞ্চিত আয়নের পরিমাণ দ্বিগুণ হয় এবং এর ভর মাপতে ন্যূনতম ত্রুটি হয়।

* প্রশ্নাবলি *

■ রচনামূলক প্রশ্ন

1. তড়িদ্বিচ্ছেষের ভিতর কী পদ্ধতিতে তড়িৎ প্রবাহ চলাচল করে ?
2. ত্বকের দ্রবণ দিয়ে তড়িৎ প্রবাহ পাঠালে কী ঘটনা ঘটে তার বিবরণ দাও যখন তড়িদ্বার দুটি (ক) তামা এবং (খ) প্রাণীমূলের তৈরি।
3. তড়িদ্বিচ্ছেষণ সম্পর্কিত ফারাডের সূত্র বর্ণনা করো। এদের পরীক্ষামূলক প্রমাণ দেবে কীরূপে ? তড়িৎ-রাসায়নিক তুল্যাক্ষের সংজ্ঞা লেখো।
4. তড়িৎ-রাসায়নিক বিশ্লেষণ সংক্রান্ত কয়েকটি ব্যবহারিক প্রয়োগ উল্লেখ করো এবং তাদের সংক্ষিপ্ত বিবরণ দাও।
5. নিম্নলিখিত বিষয় সম্বন্ধে নোট লেখো : (ক) তড়িৎ-রাসায়নিক তুল্যাক্ষ রাসায়নিক তুল্যাক্ষের সম্পর্ক, (খ) ফারাডে, (গ) ইলেকট্রোপ্রোটিন।

■ সংক্ষিপ্ত উত্তরের প্রশ্ন

1. নিম্নলিখিত রাশিগুলির ব্যাখ্যা করো : (ক) আয়ন, (খ) তড়িৎ-বিশ্লেষ্য, (গ) তড়িৎ-বিশ্লেষণ, (ঘ) তড়িৎ-বিশ্লেষক কোশ।
2. ভোল্টায় কোশ ও তড়িদ্বিচ্ছেষক কোশের পার্থক্য কী ?
3. তড়িদ্বিচ্ছেষ্য কাকে বলে ? চিনির দ্রবণ কী তড়িদ্বিচ্ছেষ্য ? পারদকে তুমি তড়িদ্বিচ্ছেষ্য বলবে কি ?
4. আমার তড়িৎ-রাসায়নিক তুল্যাক্ষ $3.29 \times 10^{-4} \text{ g/coulomb}$ বলতে কী বোঝ ?
5. কোন মৌলের তড়িৎ-রাসায়নিক তুল্যাক্ষ এবং রাসায়নিক তুল্যাক্ষের ভিতর সম্পর্ক কী ?
6. ধাতব পদার্থের ভিতর দিয়ে তড়িৎ প্রবাহ এবং তড়িদ্বিচ্ছেষের ভিতর দিয়ে তড়িৎ প্রবাহের মূল পার্থক্য কী ?
7. তোমাকে শ্রেণি সমবায় দুটি কোশ, একটি প্লাগচাবি, একটি রিওস্ট্যাট, একটি অ্যামিটার এবং একটি তড়িদ্বিচ্ছেষক কোশ দেওয়া হল। এদের সাহায্যে কীরূপে একটি তড়িৎ-বর্তনী গঠন করবে তা চিত্র একে দেখাও। প্রত্যেক অংশ চিহ্নিত করো এবং যথাযোগ্য স্থানে পজিটিভ ও নেগেটিভ চিহ্ন দাও।
8. পরিবর্তি প্রবাহের দ্বারা তড়িদ্বিচ্ছেষণ হয় না কেন ?

[Jt. Entrance 1998]

■ অতিসংক্ষিপ্ত উত্তরের প্রশ্ন

1. অ্যানায়ন এবং ক্যাটায়ন কী ?
2. তড়িদ্বিচ্ছেষ্য কাকে বলে ? বিশুদ্ধ জল কি তড়িদ্বিচ্ছেষ্য ?
3. ইলেকট্রোপ্রোটিন কী ?
4. তড়িৎ-রাসায়নিক তুল্যাক্ষের S.I. একক কী ?
5. পরিবর্তী প্রবাহের দ্বারা তড়িদ্বিচ্ছেষণ কী সম্ভব ?
6. প্রাইমারি কোশ কাকে বলে ? একটি উদাহরণ দাও।
7. শূন্য কোশের তড়িচ্চালক বল কত ?
8. টানা তড়িৎপ্রবাহের জন্য কী লেক্যাপের কোশ ব্যবহার করা হয় ?

■ বহুমুখী পছন্দের প্রশ্ন : [Multiple choice type questions (MCQ)] :

● নির্ভুল উত্তরটি ✓ চিহ্নিত করো :

- i) রূপার রাসায়নিক তুল্যাক্ষ 108 ; ফারাডে সংখ্যার মান
(A) $9.65 \times 10^7 \text{ C/kg}$ (B) $9.65 \times 10^4 \text{ C/kg}$ (c) $9.65 \times 10^2 \text{ C/kg}$ (D) $9.65 \times 10^1 \text{ C/kg}$.
- ii) একটি তাপ ভোল্টমিটারের সাথে 10Ω রোধের একটি তাপনকুণ্ডলী শ্রেণি সমবায় যুক্ত আছে। বর্তনী দিয়ে 20 মিনিট ব্যাপী স্থির প্রবাহ চলার ফলে 0.99 g তামা জমা হল। আমার E.C.E. 0.00033 g/C^{-1} হলে কুণ্ডলী যে পরিমাণ তাপের উত্তপ্ত করবে তা

- (A) 25,000 J (B) 50,000 J (C) 75,000 J (D) 100,000 J.

[iii] তড়িদ্বিচ্ছেদ্যে তড়িতাআধান বাহক

- (A) ইলেকট্রন (B) -ve আয়ন (C) +ve আয়ন (D) +ve এবং -ve উভয় আয়ন।

[iv] 1 ampere প্রবাহ 10 s ব্যাপী কপার সালফেট দ্রবণে প্রবাহিত হলে, ক্যাথোডে যে সংখ্যক তামার আয়ন জমা হবে তা

- (A) 3.125×10^{19} (B) 96500 (C) $\frac{96500}{9}$ (D) 4×96500 .

[v] একটি তাপমাত্রা ভোল্টমিটারে 100 kWh শক্তি 33 V বিভব-প্রভেদে প্রযুক্ত হল। তামার তড়িৎ রাসায়নিক তুল্যাঙ্ক $0.33 \times 10^{-6} \text{ kg C}^{-1}$ হলে মুক্ত তামার পরিমাণ

- (A) শূন্য (B) 3.6 kg (C) $\frac{3.6}{2} \text{ kg}$ (D) $\frac{3.6}{3} \text{ kg}$

[vi] নিম্নলিখিত বস্তুগুলির মধ্যে কোনটি তড়িদ্বিচ্ছেদ্য নয় ?

- (A) পারদ (B) তুঁতের দ্রবণ (C) চিনির দ্রবণ (D) অম্লযুক্ত জল।

[vii] জলের তড়িদ্বিচ্ছেদ্যে মুক্ত অক্সিজেনের আয়তন মুক্ত হাইড্রোজেন আয়তন অপেক্ষা

- (A) দ্বিগুণ (B) তিনগুণ (C) সমান (D) কোন সম্পর্ক নেই।

[viii] যে পরিমাণ তড়িতাধান কোন একঘোষী মৌলের এক মোল পরিমাণ ভর মুক্ত করে তাকে বলে

- (A) ফ্যারাডে (B) তড়িৎরাসায়নিক তুল্যাঙ্ক (C) রাসায়নিক তুল্যাঙ্ক (D) আভোগাড্রো সংখ্যা।

[ix] কোন মৌলের রাসায়নিক তুল্যাঙ্ক C এবং তড়িৎ রাসায়নিক তুল্যাঙ্ক Z হলে তাদের সম্পর্ক

- (A) $Z = C$ (B) $Z = \frac{C}{96490}$ (C) $C = \frac{Z}{96490}$ (D) কোন সম্পর্ক নেই।

[x] তড়িদ্বিচ্ছেদ্যের জন্য যে পাত্র ব্যবহার করা হয় তাকে বলে

- (A) ভোল্টমিটার (B) ভোল্টমিটার (C) অ্যামমিটার (D) গ্যালভানোমিটার।

গাণিতিক প্রশ্ন

- সিলভার নাইট্রেট দ্রবণে 0.1 A তড়িৎ-প্রবাহ 1 ঘণ্টা ব্যাপী পাঠালে, কত রূপা জমা হবে ? রূপার তড়িৎ-রাসায়নিক তুল্যাঙ্ক = 0.001118 g/C । [Ans. 0.402 g]
- একটি ভোল্টমিটারে সিলভার নাইট্রেট দ্রবণ আছে। এক ঘণ্টা ব্যাপী কত প্রবাহমাত্রা পাঠাইলে 0.805 g রূপা ক্যাথোড পাতে জমা হবে ? রূপার $Z = 1.118 \times 10^{-1} \text{ g/coulomb}$ । [Ans. 0.2A]
- জল-ভোল্টমিটারে অর্ধঘণ্টাব্যাপী 2 A তড়িৎ প্রবাহ পাঠালে 18°C তাপমাত্রায় এবং 80 cm চাপে 423 cm^3 হাইড্রোজেন গ্যাস মুক্ত হল। হাইড্রোজেন গ্যাসের তড়িৎ-রাসায়নিক তুল্যাঙ্ক নির্ণয় কর। প্রমাণ চাপ ও তাপমাত্রায় 1 litre হাইড্রোজেনের ওজন 0.089 g। [Ans. $1.05 \times 10^{-5} \text{ g/C}$]
- তাপমাত্রা ভোল্টমিটারে 10 মিনিট সময়ে 1.5 g তামা মুক্ত হল। তামার তড়িৎ-রাসায়নিক তুল্যাঙ্ক 0.000328 g/C হলে, ভোল্টমিটার দিয়ে কত তড়িৎ প্রবাহ যাচ্ছে ? [Ans. 7.62 A]
- 1 A প্রবাহমাত্রা 33 মিনিট সময়ে কপার সালফেট দ্রবণ হতে 0.65 g তামা মুক্ত করলে, হাইড্রোজেনের তড়িৎ-রাসায়নিক তুল্যাঙ্ক কত ? তামার পারমাণবিক ওজন = 63 এবং যোজ্যতা = 2। [Ans. $1.042 \times 10^{-5} \text{ g/C}$]
- একটি সিলভার ভোল্টমিটার এবং একটি কপার ভোল্টমিটার শ্রেণি সমবায় একটি ব্যাটারি এবং অ্যামমিটারের সহিত যুক্ত। ভোল্টমিটার দিয়ে 0.89 A প্রবাহ গেলে 30 মিনিট সময়ে 1.8 g রূপা মুক্ত হল। (a) রূপার তড়িৎ-রাসায়নিক তুল্যাঙ্ক এবং (b) মুক্ত তামার ভর নির্ণয় করো। [তামা এবং রূপার রাসায়নিক তুল্যাঙ্ক যথাক্রমে 3.18 এবং 108] [Ans. (a) 0.001123 g/C (b) 0.053 g]
- একটি চক্রাকার তামার প্লেটের একপাশে 0.1 mm পুরু তামা জমাতে 1.25 A তড়িৎ প্রবাহের কত সময় লাগবে ? চক্রের ব্যাসার্ধ 2.5 cm ; তামার তড়িৎ-রাসায়নিক তুল্যাঙ্ক = 0.00033 g/C ; তামার ঘনত্ব = 8.9 g/cm^3 । [Ans. 1 ঘণ্টা 10 মিনিট 38 সেকেন্ড]
- একটি বর্তনীতে নগণ্য রোধের একটি ব্যাটারি, একটি রোধ বাক্স এবং একটি ভোল্টমিটার যুক্ত আছে। যখন রোধ বাক্সে 5Ω রোধ তোলা হল তখন, 10 মিনিট সময়ে 0.36 g তামা মুক্ত হল। কিন্তু 10Ω রোধ তুললে 20 মিনিট সময়ে 0.48 g তামা মুক্ত হয়। ভোল্টমিটারের রোধ কত ? [Ans. 5 ohm]
- একটি অ্যামমিটার একটি তামার ভোল্টমিটার ও একটি ব্যাটারির সঙ্গে শ্রেণি সমবায় যুক্ত আছে। অ্যামমিটারের

স্কেলের পাঠ অনুযায়ী, 1 A প্রবাহ 30 মিনিট ধরে ঐ ভোল্টমিটারের ভিতর দিয়ে পাঠিয়ে দেখা গেল যে ক্যাথোড পাতের ওপর 0.575 g তামা সঞ্চিত হয়েছে। অ্যামিটারের স্কেলের পাঠে কী ভুল আছে? তামার তড়িৎ-রাসায়নিক তুল্যাঙ্ক = 0.000329 g/C.

[Ans. 0.03 A বেশি]

10. 1 g হাইড্রোজেন মুক্ত করতে 96500 coulomb তড়িৎপ্রবাহের প্রয়োজন। কত সময়ে, 20 mA প্রবাহ 1 g রূপা মুক্ত করবে? রূপার রাসায়নিক তুল্যাঙ্ক = 108।

[Ans. 12 h 24 min 36 s]

11. 12 V তড়িচ্চালক বল এবং 2Ω অভ্যন্তরীণ রোধের একটি ব্যাটারিকে একটি রৌপ্য ভোল্টমিটারের সঙ্গে যুক্ত করলে ব্যাটারির প্রান্তীয় বিভবপ্রভেদ দাঁড়ায় 10 V. আধ ঘণ্টায় ভোল্টমিটারের ক্যাথোডে কত রূপা জমা হবে? রূপার তড়িৎ রাসায়নিক তুল্যাঙ্ক = 1.118 mg/C.

[Ans. 2g]

12. একটি তাম্র-ভোল্টমিটারের ভিতর দিয়ে 3 A তড়িৎ-প্রবাহ গেলে 60 cm² ক্ষেত্রফলের তড়িদ্বারে তামা মুক্ত হল। 30 মিনিট সময়ে কত পুরু তামা জমা হবে? তামার ঘনত্ব = 9 g/cm³; তামার তড়িৎ-রাসায়নিক তুল্যাঙ্ক = 0.000329 g/C.

[Ans. 0.00329 cm]

13. কপার সালফেট দ্রবণের ভিতর দিয়ে 4 ঘণ্টা 27 মিনিট ব্যাপী 2 A প্রবাহ পাঠানো হল। 5 cm × 6 cm ক্ষেত্রফলের তড়িদ্বারের এক পাশে কত পুরু তামা জমা হবে? তামার তড়িৎ-রাসায়নিক তুল্যাঙ্ক = 0.00033 g/C; তামার ঘনত্ব = 8.9 g/cm³.

[Ans. 0.0396 cm]

14. প্রতি বর্গইঞ্চিতে 20 A বিদ্যুৎপ্রবাহ দ্বারা 0.05 cm পুরু নিকেল জমা করতে কত সময় লাগবে? নিকেল একটি ডাই-ভ্যালেন্ট মৌল। এর অ্যাটমিক ওয়েট 59 এবং ঘনত্ব = 9 g/cm³; সিলভারের অ্যাটমিক ওয়েট 108 এবং ইলেকট্রোকেমিক্যাল ইকুইভ্যালেন্ট 1.118 mg/coulomb.

[Jt. Entrance 1992] [Ans. 7 min 55s]

$$[সংকেত : \frac{Z_{Ag}}{Z_{Ni}} = \frac{(C.E)_{Ag}}{(C.E)_{Ni}} \text{ or, } \frac{1.118}{Z_{Ni}} = \frac{108}{59/2} \therefore Z_{Ni} = \frac{1.118 \times 59}{108 \times 2} \text{ mg/C} = \frac{1.118 \times 59}{108 \times 2 \times 10^{-3}} \text{ g/C}]$$

$$W = 0.05 \times 6.5 \times 9 \text{ g; এবার, } W = Z_{Ni} \times i \times t \text{ সমীকরণ প্রয়োগ কর।}]$$

→ কঠিনতর গাণিতিক প্রশ্ন

1. জলেরা তড়িদ্রবিশ্লেষণে 20 মিনিট ব্যাপী 0.5 A তড়িৎ প্রবাহ পাঠিয়ে 25°C তাপমাত্রায় এবং 68 cm পারদের চাপে 83.7 cm³ হাইড্রোজেন সংগৃহীত হল। ত্বের দ্রবণে তামার তড়িৎ-রাসায়নিক তুল্যাঙ্ক কত? তামার পারমাণবিক ভর = 63.57; হাইড্রোজেনের = 1.008. প্রমাণ চাপ ও তাপমাত্রায় হাইড্রোজেনের ঘনত্ব = 0.08987 g/litre.

[Ans. 3.24 × 10⁻⁴ g/coulomb]

2. শ্রেণি সমবায়ী আবদ্ধ একটি তাম্র-ভোল্টমিটার এবং একটি জল ভোল্টমিটারের ভিতর দিয়ে তড়িৎ প্রবাহ পাঠানো হল। তাম্র-ভোল্টমিটারে 5 × 10⁻² g তামা মুক্ত হল 25°C তাপমাত্রা এবং 78 cm পারদের চাপে জল ভোল্টমিটারে কত আয়তনের হাইড্রোজেন বিমুক্ত হবে? হাইড্রোজেনের তড়িৎ-রাসায়নিক তুল্যাঙ্ক = 1.04 × 10⁻⁵ g/C; তামার = 3.3 × 10⁻⁴; প্রমাণ চাপ ও তাপমাত্রায় হাইড্রোজেনের ঘনত্ব = 9 × 10⁻⁵ g/cm³.

[Ans. 18.6 cm³]

3. উপেক্ষণীয় অভ্যন্তরীণ রোধযুক্ত 6 volt কোশের সাথে শ্রেণি সমবায়ী একটি জল ক্যালরিমিটার ও একটি তাম্র-ভোল্টমিটার যুক্ত করা হল। ক্যালরিমিটারের উত্তাপক কুণ্ডলীর রোধ 3 Ω এবং ক্যালরিমিটারের জলসম 240 g; ভোল্টমিটার ও তার অভ্যন্তরস্থ তারলের জলসম 600 g; 12 মিনিটে ক্যালরিমিটারের তাপমাত্রা বৃদ্ধি 4.2°C হলে (i) ভোল্টমিটারে কত তামা জমা হবে? (ii) ভোল্টমিটারের রোধ ও তাপমাত্রা বৃদ্ধি কত হবে? (iii) যদি ভোল্টমিটারের তড়িদ্রবিশ্লেষণের লেভেল দ্বিগুণ করা হয় এবং তড়িদ্বার আংশিকভাবে তারলের বাইরে থাকে তবে ভোল্টমিটারের রোধ কী হবে?

[Ans. (i) 0.333 g (ii) 1.3 ohm; 0.72°C (iii) অর্ধেক]

4. সালফিউরিক অ্যাসিডের লঘু দ্রবণে 1 A প্রবাহমাত্রা কিছুক্ষণ পাঠানো হলে 1 g অক্সিজেন মুক্ত হল। ঐ সময়ে কত হাইড্রোজেন মুক্ত হল? কতক্ষণ যাবৎ তড়িৎ-প্রবাহ পাঠানো হয়েছিল? 1 ফ্যারাডে = 96.500 কুলম্ব।

[Ans. 0.125 g; 3h 20 min]

5. একটি ভোল্টমিটার 27 Ω রোধবিশিষ্ট একটি তারের সঙ্গে শ্রেণি সমবায়ী যুক্ত আছে। তারটি 0.5 আপেক্ষিক তাপ বিশিষ্ট 350 g তেলে নিমজ্জিত আছে। ভোল্টমিটারের ভিতর দিয়ে 20 মিনিট তড়িৎ প্রবাহ পাঠালে 0.66 g তামা মুক্ত হয়। তড়িৎ প্রবাহ চলার ফলে, তেলের তাপমাত্রাবৃদ্ধি নির্ধারণ কর। তামার Z = 0.00033 g/C. [Ans. 122.45°C]

6. 2.9 nΩ চিত্রে একটি রৌপ্য ভোল্টমিটার দেখানো হয়েছে। রৌপ্য ভোল্টমিটার দিয়ে 10 min তড়িৎ-প্রবাহ পাঠিয়ে দেখা গেল যে 18 Ω রোধে 120 KJ তাপ উৎপন্ন হয়েছে। ভোল্টমিটারের ক্যাথোডে ঐ সময় কত রূপা জমা হবে? রূপার Z = 1.118 × 10⁻³ g/C.

[Ans. 2.236 g]

7. CuSO_4 দ্রবণের তড়িৎবিশ্লেষণ পরীক্ষায় 30 মিনিট ব্যাপী 0.8 A তড়িৎ-প্রবাহ পাঠাবার ফলে ক্যাথোড প্লেটে 0.477 g তামা জমা হল। তামা দ্বিযোজী হলে, তামার পারমাণবিক ওজন কত ? [Ans. 63.89]

[সংকেত : $Z = \frac{A}{2} \times \frac{1}{F}$ সমীকরণ প্রয়োগ কর; F = ফ্যারাডে = 96490 কুলম্ব]

8. সালফিউরিক অ্যাসিডের লঘু দ্রবণের মধ্য দিয়ে 1 coulomb আধান পাঠালে প্রমাণ উষ্ণতা ও চাপে যে-আয়তনের শুষ্ক হাইড্রোজেন মুক্ত হয় তা নির্ণয় কর। ইলেকট্রনের আধান = 1.6×10^{-19} coulomb এবং অ্যাভোগাড্রো সংখ্যা = 6.02×10^{23} . [Ans. 0.116 cm^3]

9. 200 g জলে নিমজ্জিত 10Ω রোধের একটি কুণ্ডলীর সাথে শ্রেণি সমবায়ে একটি রূপার ভোল্টমিটার যুক্ত করে 5A প্রবাহ পাঠানো হল। 0.1 g রূপা মুক্ত হলে, জলের তাপমাত্রাবৃদ্ধি কত হবে ? রূপার তড়িৎ-রাসায়নিক তুল্যাঙ্ক = 0.001118 g/coulomb ; $J = 4.2 \text{ joule/cal}$; কুণ্ডলী ও পাত্রের জলসম = 10 g. [Ans. 5.07°C]

[সংকেত : $W = Z.I.t$ এবং $(w + mt) \theta = I^2 R t / J$ সমীকরণ প্রয়োগ করা।]

10. একটি ইলেক্ট্রোপ্লেটিং ভোল্টমিটারে 4 volt তড়িৎচালক বল প্রয়োগ করা হল। 400 kg তামা ইলেক্ট্রোপ্লেট করতে ব্যয় কত হবে ? 1 kWh এর খরচ 20 পয়সা ; তামার ECE = 10^{-4} g/C. [Ans. 27 পয়সা]

11. 300 cm^2 ক্ষেত্রফলের একটি ধাতব প্লেটে নিকেলের প্রলেপ দিতে হবে। 3 ঘণ্টা ব্যাপী 1.5 A প্রবাহ পাঠানো হলে প্লেটে প্রলেপের বেধ কত হবে ? নিকেলের ঘনত্ব = 8.8 g/cm^3 ; নিকেলের তড়িৎ-রাসায়নিক তুল্যাঙ্ক = 3.04×10^{-4} g/coulomb. [Ans. 0.0187 mm]

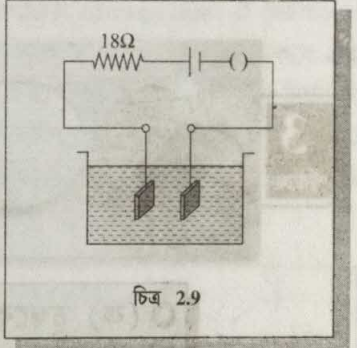
12. 10 cm^2 ক্ষেত্রফলের একটি পিতলের পাতের দুই পিঠেই 10 মাইক্রোমিটার পুরু রূপার তড়িৎ-প্রলেপনের জন্য 12 V ব্যাটারি ব্যবহার করা হল। এই প্রলেপনকালে ব্যাটারি হতে ব্যয়িত শক্তি কত নির্ণয় কর। রূপার ECE = 11.18×10^{-4} g/C এবং ঘনত্ব = 10.5 g/cm^3 . [Ans. 2254 J]

[সংকেত : 1 মাইক্রোমিটার = 10^{-6} মিটার]

13. একটি জল ভোল্টমিটার ও একটি তামার ভোল্টমিটারকে একটি বর্তনীতে শ্রেণি সমবায়ে রেখে বর্তনী দিয়ে 10^4 coulomb আধান পাঠানো হল। কতটা হাইড্রোজেন মুক্ত হবে এবং কতটা তামা জমবে ? হাইড্রোজেনের তড়িৎ-রাসায়নিক তুল্যাঙ্ক = 1.05×10^{-5} g/coulomb ; তামার পারমাণবিক ভর = 63.3 ; তামার যোজ্যতা = 2 ; হাইড্রোজেনের রাসায়নিক তুল্যাঙ্ক = 1.008. [Jt. Entrance 1982] [Ans. 0.105 g ; 3.32 g]

14. একটি রৌপ্য ভোল্টমিটারের সাথে শ্রেণি সমবায়ে যুক্ত একটি অ্যামমিটারের পাঠ 1.5 A. 10 মিনিট সময়ে ক্যাথোডে 1.085 g রূপা মুক্ত হলে অ্যামমিটারের পাঠ ঠিক কিনা নির্ণয় করো। ত্রুটি থাকলে ত্রুটির পরিমাণ কত ? রূপার $Z = 1.119 \times 10^{-3}$ g/C. [Ans. - 7.8%]

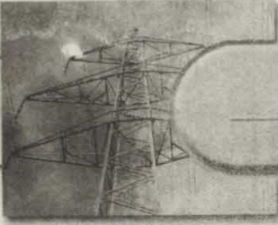
15. শ্রেণি সমবায়ে যুক্ত একটি অ্যামমিটার এবং একটি তাপ ভোল্টমিটারের মধ্য দিয়ে একটি নির্দিষ্ট পরিমাণ তড়িৎ প্রবাহ পাঠালে 1 ঘণ্টায় 0.6354 গ্রাম তামা সঞ্চিত হয়। অ্যামমিটারে 0.525A প্রবাহমাত্রা নির্দেশ করলে অ্যামমিটার পাঠের শতকরা ত্রুটি নির্ণয় করো। তামার পারমাণবিক ভর = 63.54 ; তামার যোজ্যতা = 2, 1 ফ্যারাডে = 96500 কুলম্ব। [Ans. - 2%]



চিত্র 2.9

M.C.Q. প্রশ্নের উত্তর

- (i) A (ii) C (iii) D (iv) A (v) B (vi) C (vii) A (viii) A (ix) B (x) B.



তড়িৎ-চুম্বকত্ব - I

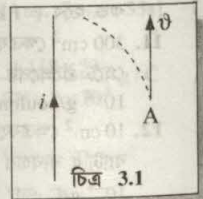
[ELECTROMAGNETISM - I]

❁ (ক) চুম্বকের ওপর তড়িৎপ্রবাহের ক্রিয়া ❁

(Action of electric current on magnet)

3.1. চৌম্বক ক্ষেত্রের ধারণা (Concept of magnetic field) :

আমরা জানি তড়িৎপ্রবাহ তড়িৎক্ষেত্র উৎপন্ন করে না। তড়িৎপ্রবাহযুক্ত কোনো তারের কাছে A বিন্দুতে কোনো তড়িতাধান q রাখলে, তড়িতাধান বিশেষ কোনো বল অনুভব করে না [চিত্র. 3.1]। সিদ্ধান্ত করা যায় যে A বিন্দুতে কোনো তড়িৎক্ষেত্র নেই। এরূপ ঘটনাই আমরা আশা করি কারণ তারের যে কোনো আয়তনে (যেখানে অসংখ্য পরমাণু আছে) সমপরিমাণ পজিটিভ ও নেগেটিভ আধান থাকে। ফলে, তারটি তড়িৎ-নিরপেক্ষ হয় এবং কোনো তড়িৎক্ষেত্র উৎপন্ন করে না।



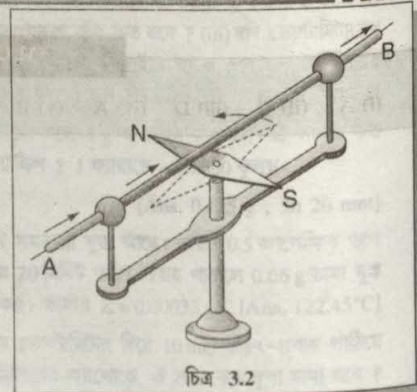
চিত্র 3.1

কিন্তু q আধানটিকে যদি A বিন্দু থেকে তারের তড়িৎপ্রবাহের অভিমুখে গতিশীল করা যায় তাহলে আধানটি তারের দিকে অথবা তার থেকে দূরে বিক্ষিপ্ত হয়ে যায়। বিক্ষিপ্তের দিক নির্ভর করে আধানটি পজিটিভ কি নেগেটিভ তার ওপর। বিক্ষিপ্তের এই ঘটনা থেকে বোঝা যায় যে A বিন্দুতে নিশ্চয়ই কোনো ক্ষেত্র আছে যা আধান q -এর ওপর বল প্রয়োগ করল; কিন্তু q স্থির থাকলে কোনো বল প্রয়োগ করল না। স্পষ্টত এই ক্ষেত্র তড়িৎক্ষেত্র হতে ভিন্ন কারণ আধান স্থির থাকুক কি গতিশীল থাকুক তড়িৎক্ষেত্র আধানের ওপর সর্বদা বল প্রয়োগ করে। এই নতুন ক্ষেত্রকে বলা হয় চৌম্বকক্ষেত্র। একে সাধারণত B অক্ষর দ্বারা প্রকাশ করা হয়। এই ক্ষেত্র যে-বল প্রয়োগ করে সেই বলকে বলা হয় চৌম্বক বল (magnetic force)। তড়িতাধানের ওপর প্রযুক্ত বল আধানের গতিবেগ ও গতির অভিমুখের ওপর নির্ভর করে। কাজেই তড়িৎবাহী তার চতুর্দিকে চৌম্বকক্ষেত্র সৃষ্টি করে।

3.2. ওরস্টেড-এর পরীক্ষা (Oersted's experiment) :

তড়িৎবাহী তার চতুর্দিকে চৌম্বক ক্ষেত্র সৃষ্টি করে — তড়িৎপ্রবাহের এই গুরুত্বপূর্ণ ফল সর্বপ্রথম লক্ষ করেন কোপেনহেগেনের অধ্যাপক হানস ক্রিস্টিয়ান ওরস্টেড 1820 খ্রিস্টাব্দে। নিম্নে ওরস্টেড-এর পরীক্ষা বর্ণনা করা হল :

AB একটি পরিবাহী তার (চিত্র 3.2) যার ভিতর দিয়ে তড়িৎপ্রবাহ চলতে পারে। তারটি উত্তর-দক্ষিণ বরাবর আটকানো আছে। তারের নীচে একটি চুম্বক-শলাকা (magnetic needle) রাখা আছে। যখন তারের ভিতর দিয়ে কোনো তড়িৎপ্রবাহ চলে না তখন চুম্বকশলাকা

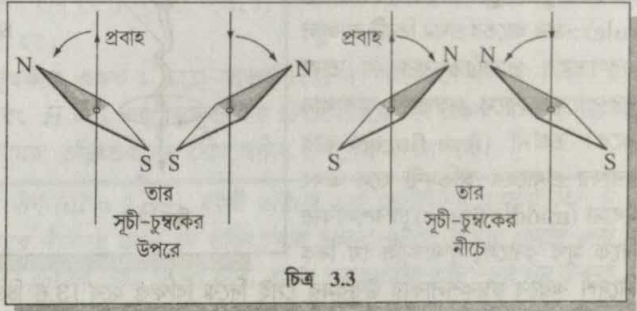


চিত্র 3.2

দক্ষিণমুখী হয়ে অবস্থান করে। 3.2 নং চিত্রে কাটা কাটা রেখাদ্বারা (dotted line) এই অবস্থানকে দেখানো হয়েছে। কিন্তু তার দিয়ে তড়িৎপ্রবাহ পাঠানোর সঙ্গে সঙ্গে চুম্বকশলাকার বিক্ষেপ হবে এবং শলাকা তারের সাথে প্রায় লম্বভাবে অবস্থান করবে (3.2 নং চিত্র)। যদি তার শলাকার নীচ দিয়ে যায় তবে শলাকার বিক্ষেপ উল্টো দিকে হবে। অথবা তড়িৎপ্রবাহের অভিমুখ A থেকে B এর দিকে না করে উল্টো B থেকে A -দিকে করলে শলাকার বিক্ষেপ উল্টো দিকে হবে। এই বিভিন্ন অবস্থা 3.3 নং চিত্রে দেখানো হয়েছে।

এই পরীক্ষা থেকে আমরা নিম্নলিখিত বিষয়গুলি জানতে পারি :

(i) তড়িৎপ্রবাহ চৌম্বক ক্ষেত্র সৃষ্টি করতে পারে; কারণ, চৌম্বক ক্ষেত্রের প্রভাব ছাড়া চুম্বক শলাকার বিক্ষেপ হয় না। এই প্রসঙ্গে মনে রাখা কর্তব্য, এই চৌম্বকক্ষেত্রের দ্বারা পরিবাহী চুম্বকিত হয় না। কিছু লৌহচূর্ণ



চিত্র 3.3

তড়িৎবাহী তারের কাছে আনলে, এ তার চূর্ণগুলিকে আকর্ষণ করবে না।

(ii) তারকে চৌম্বকশলাকার অক্ষের সঙ্গে কোনো কোণে আনত রাখলে (অনুভূমিক তলে রেখে) তারের তড়িৎপ্রবাহ চৌম্বকশলাকাকে বিক্ষিপ্ত করবে কিন্তু তারকে যদি পূর্ব-পশ্চিম দিকে অর্থাৎ চুম্বকশলাকার অক্ষের লম্বভাবে রেখে তড়িৎপ্রবাহ পাঠানো যায় তাহলে চুম্বকশলাকার কোনো বিক্ষেপ হয় না।

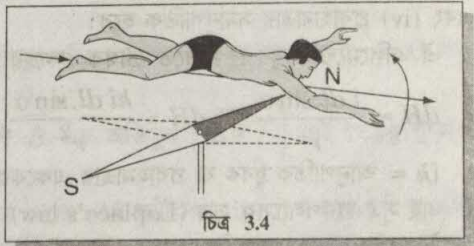
(iii) তড়িতাধান গতিশীল হলে, তা তড়িৎপ্রবাহের সমতুল্য হয়। কাজেই আমরা বলতে পারি যে, কোনো তড়িতাধান গতিশীল হলে তার চতুর্দিকে একটি চৌম্বকক্ষেত্রের সৃষ্টি হয়; তড়িতাধান স্থির থাকলে ঐরূপ কোনো চৌম্বকক্ষেত্র সৃষ্টি হবে না।

ওরস্টেড-এর এই আবিষ্কার তড়িৎবিজ্ঞানে এক নূতন যুগের সূচনা করেছে; তড়িৎ ও চুম্বকের পারস্পরিক ক্রিয়ার ফলে বহু প্রয়োজনীয় তড়িৎযন্ত্র তৈরি হয়েছে।

3.3. চুম্বক বিক্ষেপের দিক নির্ণয়ের নিয়ম (Rule for the direction of deflection of the magnetic needle) :

পূর্ববর্ণিত পরীক্ষায় আমরা দেখলাম চুম্বক শলাকা তারের উপরে রাখলে যে দিকে বিক্ষেপ হয় নীচে রাখলে বিক্ষেপ উল্টো দিকে হয়। অথবা তড়িৎপ্রবাহের অভিমুখ উল্টো দিলেও বিক্ষেপ উল্টো দিকে হয়। তড়িৎপ্রবাহের ফলে চুম্বক শলাকার বিক্ষেপের দিক নির্ণয় নিম্নলিখিত নিয়মগুলির দ্বারা করা হয়।

(1) অ্যাম্পিয়ারের স্তম্ভরপ নিয়ম (Ampere's swimming rule) : মনে করো, কোনো ব্যক্তি তড়িৎবাহী তার বরাবর প্রবাহের অভিমুখে এমনভাবে হাত ছড়িয়ে সাঁতার দিচ্ছে যে তার মুখ সর্বদা চুম্বকের দিকে থাকে [3.4 নং চিত্র]। এই অবস্থায় এ ব্যক্তির বাম হাতের দিকে চুম্বকের উত্তরমেরু (N-pole) বিক্ষিপ্ত হবে। সুতরাং দক্ষিণমেরু এ ব্যক্তির ডান হাতের অভিমুখে বিক্ষিপ্ত হবে।



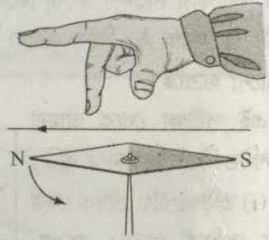
চিত্র 3.4

(2) ম্যাক্সওয়েলের কর্ক-স্ক্রু নিয়ম (Maxwell's cork screw rule) : পরিবাহী তার দিয়ে যে দিকে তড়িৎপ্রবাহ হচ্ছে, মনে কর, একটি ডান পাকের (right handed) কর্ক-স্ক্রুকে পরিবাহী তার বরাবর সেই দিকে চালনা করা হল। এই অবস্থায় বৃন্দাজুলি যেদিকে ঘুরবে চুম্বক শলাকার উত্তরমেরু সেই দিকে বিক্ষিপ্ত হবে [3.5 নং চিত্র]।

(3) বৃন্দাজুলি নিয়ম (Thumb rule) : ডান হাতের প্রথম তিনটি আঙ্গুল এরূপভাবে প্রসারিত কর যে তারা পরস্পরের সাথে লম্বভাবে অবস্থান করে। তর্জনী (fore finger) তার বরাবর প্রবাহের অভিমুখী হলে এবং মধ্যমা (middle finger) চুম্বকশলাকার দিকে মুখ করলে, বৃন্দাজুলি যে দিক নির্দেশ করবে চুম্বকশলাকার উত্তরমেরু সেই দিকে বিক্ষিপ্ত হবে [3.6 চিত্র]।



চিত্র 3.5

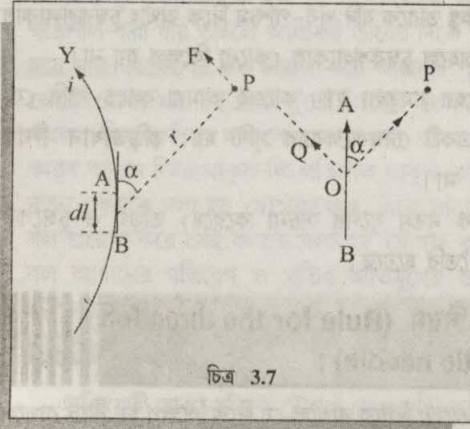


চিত্র 3.6

3.4. বায়ো-সভার্ট সূত্র : (Bio-Savart law) :

তড়িৎবাহী পরিবাহী তার চতুর্দিকে যে চৌম্বকক্ষেত্র সৃষ্টি করে যে-কোনো বিন্দুতে ঐ চৌম্বক ক্ষেত্রের প্রাবল্য বায়ো-সভার্ট সূত্র হতে পাওয়া যায়।

ধরো, XY পরিবাহী দিয়ে X হতে Y অভিমুখে i তড়িৎপ্রবাহ যাচ্ছে। ঐ পরিবাহীর একটি ক্ষুদ্র অংশ AB — যার দৈর্ঘ্য মনে করো, dl — কল্পনা* করো [চিত্র 3.7]। এখন বায়ো-সভার্ট সূত্রানুযায়ী ঐ ক্ষুদ্র অংশের দ্বারা যে-কোনো বিন্দু P-তে চৌম্বক ক্ষেত্রের প্রাবল্য (i) দৈর্ঘ্য dl -এর সমানুপাতিক, (ii) ঐ ক্ষুদ্র অংশ হতে P বিন্দুর দূরত্ব r -এর বর্গের ব্যস্তানুপাতিক ; এই দূরত্বকে বলা হয় দূরক (radius vector) (iii) ঐ ক্ষুদ্র অংশে তড়িৎপ্রবাহের অভিমুখ এবং দূরকের অভিমুখের অন্তর্বর্তী কোণ α র সাইনের সমানুপাতিক



চিত্র 3.7

এবং (iv) প্রবাহমাত্রার সমানুপাতিক হবে।

ঐ এলিমেন্টের দ্বারা P বিন্দুতে চৌম্বক ক্ষেত্রের প্রাবল্য dH ধরলে, বায়ো-সভার্ট সূত্রানুযায়ী,

$$dH \propto \frac{i dl \sin \alpha}{r^2} \text{ বা, } dH = \frac{ki dl \sin \alpha}{r^2} \dots \dots (i)$$

[k = আনুপাতিক ধ্রুবক যা প্রবাহমাত্রার এককের ওপর নির্ভরশীল।]

এই সূত্র ল্যাপ্লাসের সূত্র (Laplace's law) নামেও পরিচিত।

উক্ত চৌম্বক ক্ষেত্রের অভিমুখ হবে এলিমেন্ট dl এবং দূরক যে তলে অবস্থিত সেই তলের অভিলম্ব বরাবর। চিত্রে dl এবং দূরক কাগজের তলে আঁকা হয়েছে; অতএব P বিন্দুতে চৌম্বক ক্ষেত্র কাগজের তলের অভিলম্ব হবে। তড়িৎপ্রবাহের অভিমুখ X হতে Y —এর দিকে হলে চিত্রে যেরূপ দেখানো হয়েছে

* তড়িৎবাহী পরিবাহীর এরূপ ক্ষুদ্র অংশকে বলা হয় প্রবাহ এলিমেন্ট (current element)।

ঐরূপ হবে চৌম্বকক্ষেত্রের অভিমুখ। এই অভিমুখ 3.2 অনুচ্ছেদে উল্লিখিত নিয়মগুলি প্রয়োগ করলে পাওয়া যাবে।

সমগ্র পরিবাহীর দরুন P বিন্দুতে মোট চৌম্বকক্ষেত্র পেতে গেলে পরিবাহীকে ঐরূপ ক্ষুদ্র ক্ষুদ্র এলিমেন্টে বিভক্ত করে প্রত্যেক এলিমেন্টের দরুন P বিন্দুতে চৌম্বক ক্ষেত্র (dH) নির্ণয় করতে হবে এবং তাদের ভেক্টর সমষ্টি নিতে হবে।

$$\text{C.G.S পদ্ধতিতে } k = 1, \therefore H = \sum dH = \sum \frac{i \cdot dl \cdot \sin \alpha}{r^2} \text{ Oe} \dots \dots (iii)$$

উপরোক্ত সমীকরণ হতে বলা যায় যে $\alpha = \pi/2$ হলে, H -এর মান সর্বাধিক হয় এবং $\alpha = 0$ হলে H এর মান সর্বনিম্ন হয়ে শূন্য হয়।

● তড়িৎ প্রবাহের তড়িচ্চুম্বকীয় একক : বায়ো-সভার্ট (iii) নং সমীকরণে যদি মনে করা যায়, $dl = 1$, $\alpha = 90^\circ$; $r = 1$ এবং $H = 1$ এবং আনুষঙ্গিক প্রবাহমাত্রাকে যদি একক হিসাবে ধরা যায় তবে $k = 1$ হয়। এ থেকে আমরা তড়িৎপ্রবাহের তড়িচ্চুম্বকীয় এককের সংজ্ঞা পাই।

সংজ্ঞা : এক সেন্টিমিটার দীর্ঘ ($dl = 1 \text{ cm}$) একটি তারকে এক সেন্টিমিটার ব্যাসার্ধ-বিশিষ্ট ($r = 1 \text{ cm}$) বৃত্তের আকারে বাঁকিয়ে তাতে যে তড়িৎপ্রবাহ চালনা করলে বৃত্তের কেন্দ্রে এক ওরস্টেড ($H = 1 \text{ oersted}$) চৌম্বক ক্ষেত্র উৎপন্ন হবে, তাকে প্রবাহমাত্রার তড়িৎ-চুম্বকীয় একক বলা হবে।

এক্ষেত্রে $\alpha = 90^\circ$ অথবা $\sin \alpha = 1$ কারণ বৃত্তাকার তারের যে-কোনো ক্ষুদ্র অংশ ব্যাসার্ধের সাথে সমকোণ করে। তড়িৎপ্রবাহের তড়িচ্চুম্বকীয় একক অনুযায়ী,

$$dH = \frac{i \cdot dl \cdot \sin \alpha}{r^2} \text{ Oe এবং } H = \sum \frac{i \cdot dl \cdot \sin \alpha}{r^2} \text{ Oe} \quad [i = \text{তড়িচ্চুম্বকীয় এককে প্রবাহমাত্রা}]$$

প্রবাহমাত্রার ব্যাবহারিক এবং এস. আই একক ‘অ্যাম্পিয়ার’-এর সাথে উপরিউক্ত তড়িৎ-চুম্বকীয় এককের সম্পর্ক নিম্নরূপ :

$$10 \text{ অ্যাম্পিয়ার} = 1 \text{ ই. এম. ইউ.}$$

● S. I. পদ্ধতিতে বায়ো-সভার্ট সূত্র : এস. আই. পদ্ধতিতে $k = \frac{\mu_0}{4\pi}$; চৌম্বক ক্ষেত্রের কোনো বিন্দুতে ক্ষেত্র প্রাবল্যকে চৌম্বক আবেশ (magnetic induction) বলা হয় এবং B অক্ষর দ্বারা সূচিত করা হয়। S.I পদ্ধতিতে $B = \sum \frac{\mu_0}{4\pi} \cdot \frac{i \cdot dl \cdot \sin \alpha}{r^2}$

$$\text{ভেক্টর অঙ্গপাতনে } \vec{B} = \sum \frac{\mu_0}{4\pi} \cdot \frac{i (\vec{dl} \times \vec{r})}{r^3}; \dots (iv) \text{ idl এই রাশিটিকে বলা হয় প্রবাহী}$$

এলিমেন্ট (current element)। $i \vec{dl}$ -এর অভিমুখ তড়িৎপ্রবাহের অভিমুখ বরাবর; $\vec{r} = O$ -বিন্দুর সাপেক্ষে P -বিন্দুর স্থানভেক্টর (position vector)।

পূর্বেই উল্লেখ করা হয়েছে যে চৌম্বক আবেশ \vec{B} -এর অভিমুখ $(\vec{dl} \times \vec{r})$ এই ভেক্টর গুণন যে অভিমুখ নির্দেশ করে সেই অভিমুখে।

[দ্রষ্টব্য : উল্লেখযোগ্য যে বায়ো-সভার্ট সূত্র থেকে প্রাপ্ত সমীকরণ (iii) অথবা (iv) বিন্দু আধান (point charge) কর্তৃক উৎপন্ন তড়িৎক্ষেত্রের সমীকরণের সদৃশ। বিন্দু আধান কর্তৃক উৎপন্ন তড়িৎ ক্ষেত্রের মত চৌম্বক ক্ষেত্র (বা আবেশ) দূরত্বের বর্গের ব্যস্তানুপাতিক সূত্র $\left(\frac{1}{r^2}\right)$ মেনে চলে। তবে উভয় ক্ষেত্রের মধ্যে পার্থক্য এই যে, তড়িৎক্ষেত্রের উৎস হল বিন্দু আধান কিন্তু চৌম্বক ক্ষেত্রের উৎস

হল ক্ষুদ্র প্রবাহী এলিমেন্ট $(i \vec{dl})$ । বিন্দু আধানের মত বিন্দু চৌম্বক মেরুর (magnetic monopole) কোন অস্তিত্ব নেই। তাছাড়া, তড়িতাধান (তড়িৎক্ষেত্রের উৎস) একটি স্কেলার কিন্তু প্রবাহী এলিমেন্ট (চৌম্বক ক্ষেত্রের উৎস) একটি ভেক্টর।]

□ EXAMPLE □

উত্তর-দক্ষিণ মুখ করা একটি তারে 5 A প্রবাহ দক্ষিণ থেকে উত্তরে যাচ্ছে। ঐ তারের 1 cm দৈর্ঘ্যের দরুন তার থেকে উত্তর-পূর্বদিকে 1 metre দূরে চৌম্বক আবেশ নির্ণয় করো।

উত্তরঃ বায়ো সাভার্ট সূত্রানুযায়ী P বিন্দুতে চৌম্বক আবেশ [চিত্র 3.8],

$$\vec{dB} = \frac{\mu_0}{4\pi} \cdot \frac{i(\vec{dl} \times \vec{r})}{r^3}$$

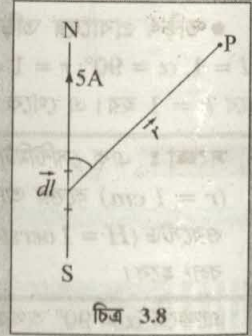
$$\text{অথবা } |\vec{dB}| = \frac{\mu_0}{4\pi} \cdot \frac{i \cdot dl \cdot r \sin \alpha}{r^3} = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{idl \cdot \sin \alpha}{r^2}$$

এখানে $i = 5A$, $dl = 1 \text{ cm} = 10^{-2} \text{ metre}$; $\alpha = 45^\circ$ এবং $r = 1m$

$$\therefore dB = \frac{4\pi \times 10^{-7}}{4\pi} \times \frac{5 \times 10^{-2} \times \sin 45^\circ}{(1)^2} \text{ tesla (T)}$$

$$= \frac{5}{\sqrt{2}} \times 10^{-9} \text{ T}$$

$$= 3.54 \times 10^{-9} \text{ T.}$$



চিত্র 3.8

চৌম্বক আবেশের অভিমুখ ভেক্টর গুণফলের দক্ষিণহস্ত নিয়মানুযায়ী $\vec{dl} \times \vec{r}$ -এর অভিমুখে। চিত্রানুযায়ী খাড়া নিম্নমুখী।

● চৌম্বক ক্ষেত্রের S.I. একক (S.I. unit of magnetic field) :

চৌম্বক ক্ষেত্রের S.I. এককের নাম টেসলা (T)। যুগোপাভের বিজ্ঞানী নিকোলা টেসলার নামানুসরণে এই নামকরণ করা হয়েছে। নিম্নলিখিতভাবে বায়ো সাভার্ট সূত্রের সাহায্যে টেসলা এবং অ্যাম্পিয়ারের সম্পর্ক নির্ণয় করা যায়। এস্.আই পদ্ধতি অনুযায়ী বায়ো-সাভার্ট সমীকরণ হবে

$$dB = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{idl \sin \alpha}{r^2} \text{ টেসলা}$$

এখন, $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}$ হেনরি/মিটার (Hm^{-1})

$$\therefore dB = 10^{-7} \frac{idl \sin \alpha}{r^2} \text{ টেসলা}$$

যদি $i = 1A$, $r = 1m$ এবং $\alpha = 90^\circ$ হয়, তবে $dB = 10^{-7} \text{ tesla}$

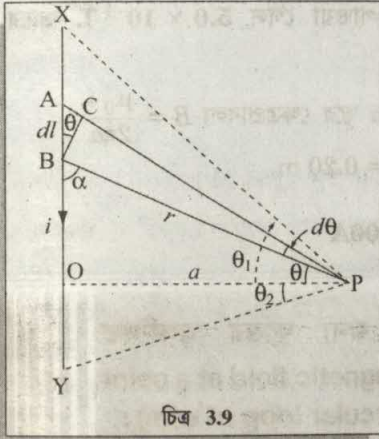
অতএব, dl metre দীর্ঘ একটি ক্ষুদ্র প্রবাহী এলিমেন্ট 1 অ্যাম্পিয়ার প্রবাহ বহন করলে এলিমেন্ট থেকে 1 metre দূরে এবং এলিমেন্টের অভিলম্ব দিকে 10^{-7} tesla চৌম্বক ক্ষেত্র সৃষ্টি করে। এইভাবে টেসলাকে অ্যাম্পিয়ারের পরিপ্রেক্ষিতে সংজ্ঞায়িত করা যায়।

3.5.

সুদীর্ঘ ঋজু তারে তড়িৎপ্রবাহের জন্য যে-কোনো বিন্দুতে চৌম্বকক্ষেত্রের প্রাবল্য নির্ণয় (Determination of intensity of magnetic field at a point due to current in a long straight wire) :

ধরো XY একটি ঋজু তারের অংশ। তার দিয়ে i অ্যাম্পিয়ার প্রবাহ X থেকে Y-এর দিকে যাচ্ছে।

বায়ো-সার্ভার্ট সূত্র প্রয়োগ করে যে-কোনো বিন্দু P-তে এই প্রবাহের দরুন চৌম্বক ক্ষেত্রের প্রাবল্য নির্ণয় করা যায়। এই তারের একটি ক্ষুদ্র অংশ $AB = dl$ হলে [চিত্র 3.9], P- বিন্দুতে চৌম্বক ক্ষেত্রের প্রাবল্য



চিত্র 3.9

$$dB = \frac{\mu_0}{4\pi} \cdot \frac{i d\vec{l} \times \vec{r}}{r^3}$$
 যেখানে \vec{r} হল $i dl$ প্রবাহ এলিমেন্টের (current element) সাপেক্ষে P বিন্দুর স্থান-ভেক্টর।

চৌম্বক ক্ষেত্রের মান
$$dB = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{idl \cdot \sin \alpha}{r^2}$$
 যেখানে $\alpha = dl$ এবং \vec{r} এর ভিতরকার কোণ। B থেকে AP রেখার ওপর BC লম্ব টানো। সরল জ্যামিতির সাহায্যে প্রমাণ করা যায় $\angle ABC = \angle OPB = \theta$ (ধর) কাজেই $r \cdot d\theta = BC = AB \cos \theta = dl \cos \theta$.

এখন $\triangle OPB$ বিবেচনা করলে, $\theta + \alpha = 90^\circ$ (অথবা $\alpha = 90^\circ - \theta$) $\therefore \sin \alpha = \cos \theta$.

$$\text{অতএব, } dB = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{idl \cdot \sin \alpha}{r^2} = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{idl \cdot \cos \theta}{r^2} = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{i \cdot r \cdot d\theta}{r^2} = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{id\theta}{r}$$

$$\text{আবার } OP = a \text{ ধরলে, } \frac{a}{r} = \cos \theta \text{ কাজেই, } dB = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{i \cdot \cos \theta \cdot d\theta}{a}$$

তারের OX দৈর্ঘ্যে এরূপ ক্ষুদ্র ক্ষুদ্র এলিমেন্ট নিয়ে তাদের দরুন dB মানের সমষ্টি নির্ণয় করলে P বিন্দুতে মোট চৌম্বকক্ষেত্র পাওয়া যাবে। এখন $\angle OPX = \theta_1$ হলে OX অংশের দরুন P বিন্দুতে চৌম্বক ক্ষেত্র প্রাবল্য

$$= \int_0^{\theta_1} dB = \int_0^{\theta_1} \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{i \cos \theta}{a} d\theta = \frac{\mu_0 i}{4\pi a} \cdot \sin \theta_1$$

অনুরূপভাবে, $\angle OPY = \theta_2$ হলে OY অংশের দরুন P বিন্দুতে চৌম্বক ক্ষেত্র-প্রাবল্য

$$= \int_0^{\theta_2} dB = \frac{\mu_0}{4\pi} \int_0^{\theta_2} \frac{i \cos \theta}{a} d\theta = \frac{\mu_0 i}{4\pi a} \cdot \sin \theta_2$$

$$\therefore XY \text{ তারের দরুন P বিন্দুতে মোট চৌম্বক ক্ষেত্র প্রাবল্য } B = \frac{\mu_0 i}{4\pi a} (\sin \theta_1 + \sin \theta_2) \dots (i)$$

যদি তার সুদীর্ঘ হয় (infinitely long) তবে $\theta_1 = \theta_2 = 90^\circ$ । সেক্ষেত্রে

$$B = \frac{\mu_0}{4\pi} \cdot \frac{2i}{a} = \frac{\mu_0 i}{2\pi a} \dots (ii)$$

● লম্ব দ্বিখণ্ডকের উপর চৌম্বক ক্ষেত্র (Magnetic field on a perpendicular bisector): ধরো, $XY = x$ এবং P বিন্দু XY রেখার লম্বদ্বিখণ্ডকের উপর অবস্থিত (চিত্র 3.9)।

$$\text{তাহলে, } OX = OY = \frac{x}{2} \text{ এবং } \cos \theta_1 = \frac{x/2}{\sqrt{a^2 + \frac{x^2}{4}}} = \frac{x}{\sqrt{4a^2 + x^2}}$$

$$\cos \theta_2 = \frac{a}{\sqrt{4a^2 + x^2}}$$

$$\text{সমীকরণ (i) দাঁড়ায় } B = \frac{\mu_0 i}{4\pi a} \cdot \frac{2a}{\sqrt{4a^2 + x^2}} = \frac{\mu_0 ia}{2\pi a \sqrt{4a^2 + x^2}} \dots (iii)$$

□ EXAMPLE □

একটি সুদীর্ঘ ঝজু তার ঝাড়া ভাবে রাখা আছে। তার দিয়ে তড়িৎপ্রবাহ উর্ধ্বমুখী। তার থেকে 0.20 m দূরের বিন্দুতে চৌম্বক ক্ষেত্র-প্রাবল্য পাওয়া গেল $5.0 \times 10^{-4} \text{ T}$ । তারে প্রবাহমাত্রা কত?

উঃ। সুদীর্ঘ ঝজু তারে তড়িৎপ্রবাহের দরুন তার থেকে a দূরে ক্ষেত্রপ্রাবল্য $B = \frac{\mu_0 i}{2\pi a}$

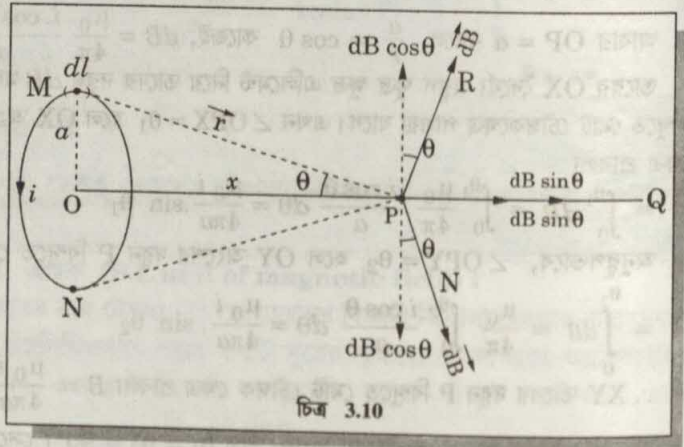
এখানে $B = 5.0 \times 10^{-4} \text{ T}$; $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}$; $a = 0.20 \text{ m}$.

$$\therefore 5.0 \times 10^{-4} = \frac{4\pi \times 10^{-7}}{2\pi \times 0.20} \times i \text{ অথবা } i = 500 \text{ A}$$

3.6.

বৃত্তাকার তারের লুপে তড়িৎপ্রবাহের জন্য বৃত্তের অক্ষস্থিত কোনো বিন্দুতে চৌম্বক ক্ষেত্রপ্রাবল্য (Magnetic field at a point on the axis of a current-carrying circular loop of wire) :

a ব্যাসার্ধের একটি বৃত্তাকার তারের লুপের কেন্দ্রবিন্দু O থেকে অক্ষের (OQ) ওপর x দূরে একটি বিন্দু P নেওয়া হল [চিত্র 3.10]। পরিবাহী তার দিয়ে i অ্যাম্পিয়ার প্রবাহমাত্রা তিরচিহ্ন প্রদর্শিত পথে চলছে। ঐ প্রবাহের দরুন P বিন্দুতে চৌম্বকক্ষেত্রের প্রাবল্য নির্ণয় করতে হবে। লুপটি কাগজের তলের অভিলম্ব কিন্তু অক্ষ OPQ কাগজের তলে অবস্থিত। ধরো, M বিন্দুতে পরিবাহীর $i dl$ দৈর্ঘ্যের একটি অতি ক্ষুদ্র এলিমেন্ট AB নেওয়া হল। P বিন্দু থেকে ঐ এলিমেন্টের মধ্যবিন্দু \vec{r} দূরে অবস্থিত। চিত্র থেকে বোঝা যায় যে



চিত্র 3.10

এই সংযোগী রেখা (অর্থাৎ r) dl ক্ষুদ্র অংশের অভিলম্ব। কাজেই এক্ষেত্রে $\alpha = 90^\circ$;

এখন বায়ো-সভার্ট সূত্রানুযায়ী dl অংশের প্রবাহের দরুন P বিন্দুতে চৌম্বক ক্ষেত্র প্রাবল্য

$$\vec{dB} = \frac{\mu_0}{4\pi} \cdot \frac{i \vec{dl} \times \vec{r}}{r^3}$$

যেহেতু \vec{dl} কাগজের তলের অভিলম্ব তাই $\vec{dl} \times \vec{r}$ কাগজের তলে অবস্থিত হবে। ভেক্টর গুণনের নিয়মানুযায়ী \vec{dB} এর অভিমুখ হবে চিত্রে প্রদর্শিত \vec{PR} অভিমুখে (MP রেখার অভিলম্ব বরাবর)। ঐ চৌম্বকক্ষেত্রের মান

$$dB = \frac{\mu_0}{4\pi} \cdot \frac{i dl}{r^2} = \frac{\mu_0 i}{4\pi} \cdot \frac{dl}{(a^2 + x^2)} \quad \left[\because r^2 = a^2 + x^2 \right]$$

\vec{PR} অভিমুখী \vec{dB} চৌম্বক ক্ষেত্রকে অক্ষ OP এবং তার অভিলম্ব বরাবর দুই উপাংশে বিভক্ত

করলে অক্ষীয় উপাংশ $dB \cdot \sin \theta = \frac{\mu_0 i}{4\pi} \frac{a dl}{(a^2 + x^2)^{3/2}} \dots \dots (i)$

$$\left[\sin \theta = \frac{a}{r} = \frac{a}{(a^2 + x^2)^{1/2}} \right]$$

পরিবাহীর উপরার্ধে M বিন্দুর ক্ষুদ্র অংশের ন্যায় নিম্নার্ধে অনুরূপ N বিন্দুতে একটি ক্ষুদ্র অংশ নিলে,

তার দরুনও P বিন্দুতে চৌম্বক প্রাবল্য হবে \vec{dB} এবং তা \vec{PN} অভিমুখে ক্রিয়া করবে। ঐ প্রাবল্যকে পূর্বের ন্যায় বিভাজন করলে OP-র অভিলম্ব উপাংশ হবে PR এর অভিলম্ব উপাংশের সমান এবং বিপরীত। সুতরাং বৃত্তাকার পরিবাহীর যে-কোনো দুটি বিপরীত ক্ষুদ্র অংশ নিলে P বিন্দুতে তারা যে চৌম্বক প্রাবল্য সৃষ্টি করবে এসব প্রাবল্যের OP রেখার অভিলম্ব উপাংশগুলি সমান ও বিপরীত হবে। ফলে, অভিলম্ব উপাংশগুলি পরস্পরকে নাকচ করে দেবে।

কিন্তু পরিবাহীর উপরার্ধ এবং নিম্নার্ধ উভয়ের জন্যই OP রেখা বরাবর অক্ষীয় উপাংশগুলি সব একমুখী। কাজেই সমগ্র বৃত্তাকার পরিবাহীর দরুন P বিন্দুতে চৌম্বক প্রাবল্য

$$B = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{i \cdot a}{(a^2 + x^2)^{3/2}} \cdot \int dl = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{2\pi a^2 i}{(a^2 + x^2)^{3/2}} \left[\int dl = l = 2\pi a \right]$$

যদি বৃত্তাকার লুপে পাক সংখ্যা (number of turns) হয় n তবে,

$$B = \mu_0 \times \frac{2\pi n a^2 i}{4\pi (a^2 + x^2)^{3/2}} = \frac{\mu_0}{2} \frac{n a^2 i}{(a^2 + x^2)^{3/2}} \dots \dots (ii)$$

যদি $x = 0$ হয়, তবে P বিন্দু বৃত্তাকার পরিবাহীর কেন্দ্রে অবস্থিত হবে এবং সেখানে চৌম্বক প্রাবল্য

$$B = \frac{\mu_0}{2} \frac{n a^2 i}{(a^2)^{3/2}} = \frac{\mu_0}{2} \frac{n i}{a}$$

□ EXAMPLES □

1. 15 cm ব্যাস এবং 10 পাকের একটি ক্ষুদ্র বৃত্তাকার কুণ্ডলীতে 10A প্রবাহ গেলে, ঐ কুণ্ডলীর কেন্দ্রে চৌম্বকক্ষেত্রের প্রাবল্য কত হবে?

উঃ। তড়িৎবাহী বৃত্তাকার লুপের কেন্দ্রে চৌম্বক প্রাবল্য $B = \frac{\mu_0}{2} \cdot \frac{n i}{a}$

এখানে, $n = 10$; $i = 10$ A; $a = 7.5$ cm = $\frac{7.5}{100}$ m; $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}$

$$\therefore B = \frac{4\pi \times 10^{-7} \times 10 \times 10 \times 100}{2 \times 7.5} = 8.38 \times 10^{-4} \text{ tesla.}$$

2. 0.12 m ব্যাসের এবং 10 পাকের একটি তার কুণ্ডলীতে 7A প্রবাহমাত্রা যাচ্ছে। কুণ্ডলীকে চৌম্বক মধ্যরেখায় স্থাপন করা আছে। ঐ কুণ্ডলীর কেন্দ্র থেকে 0.08 m দূরে এবং কুণ্ডলীর তলের অভিলম্ব দিকে একটি চৌম্বক শলাকা রাখলে, শলাকা কত কোণে বিক্ষিপ্ত হবে? ঐ স্থানে ভূচৌম্বক ক্ষেত্রের অনুভূমিক উপাংশ = 0.4×10^{-4} T.

উঃ। কুণ্ডলীর কেন্দ্র থেকে x দূরে কুণ্ডলীর অক্ষের ওপর চৌম্বক প্রাবল্য $B = \frac{1}{2} \frac{\mu_0 n i a^2}{(a^2 + x^2)^{3/2}}$

এখানে, $n = 10$; $i = 7 \text{ A}$; $a = 0.06 \text{ m}$; $x = 0.08 \text{ m}$

$$\therefore B = \frac{4\pi \times 10^{-7} \times 10 \times 7 \times (0.06)^2}{2 \{(0.06)^2 + (0.08)^2\}} = 1.58 \times 10^{-4} \text{ T.}$$

যদি চুম্বক শলাকার বিক্ষেপ θ হয় তবে ট্যানজেন্ট সূত্র (4.6 অনুচ্ছেদ দ্রষ্টব্য) থেকে পাই

$$\tan \theta = \frac{B}{H} = \frac{1.58 \times 10^{-4}}{0.4 \times 10^{-4}} = 4 \text{ (প্রায়)} \therefore \theta = 75^\circ 60' \text{ (প্রায়)}$$

3.7.

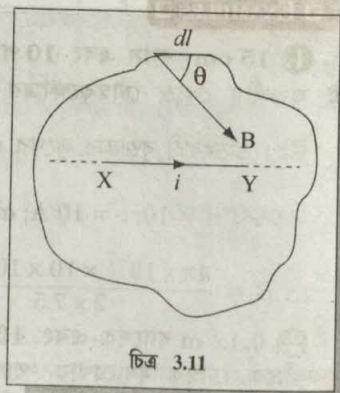
অ্যাম্পিয়ারের পরিক্রমণ উপপাদ্য (Ampere's circuital theorem):

কোনো নির্দিষ্ট তড়িৎপ্রবাহ বন্টনের (current distribution) দরুন উৎপন্ন চৌম্বকক্ষেত্র নির্ণয়ের আর একটি উপায় হল অ্যাম্পিয়ারের পরিক্রমণ উপপাদ্য। স্থির তড়িৎবিজ্ঞানে গসের উপপাদ্য (স্থির তড়িৎ বিজ্ঞান, 4.22 অনুচ্ছেদ) একটি মৌলিক উপপাদ্য। গসের উপপাদ্য থেকে কোনো বন্ধপৃষ্ঠে স্থির তড়িৎক্ষেত্রের পৃষ্ঠ সমাকল (surface integral) এবং ঐ বন্ধ পৃষ্ঠ কর্তৃক আবদ্ধ মোট তড়িতাধানের ভিতর সম্পর্ক পাওয়া যায়। চৌম্বক ক্ষেত্র \vec{B} এর বেলায় ঐ রকম কোনো সম্পর্ক পাওয়া যায় না কারণ একক তড়িতাধানের মতো একক চৌম্বক মেবুর কোনো অস্তিত্ব নেই। চুম্বক সর্বদা দ্বিমেরু বিশিষ্ট। কিন্তু চৌম্বক ক্ষেত্রে অবস্থিত কোনো বক্ররেখার (curve) বিভিন্ন বিন্দুতে চৌম্বক ক্ষেত্রপ্রাবল্যের সাথে ঐ বক্ররেখা বেষ্টিত ক্ষেত্রের ভিতর দিয়ে প্রবাহিত মোট তড়িৎপ্রবাহের একটি সম্পর্ক আছে। সর্বপ্রথম অ্যাম্পিয়ার এই সম্পর্ক আবিষ্কার করেন। তাই এই সম্পর্ককে বলা হয় অ্যাম্পিয়ারের পরিক্রমণ উপপাদ্য।

একটি বন্ধ পথ বরাবর চৌম্বক আবেশের লাইন ইন্টিগ্রাল (রেখা সমাকল) ঐ বন্ধ রেখা বেষ্টিত মোট প্রবাহমাত্রার μ_0 গুণ ($\mu_0 =$ শূন্য মাধ্যমের চৌম্বক ভেদ্যতা)।

(The line integral of the magnetic induction around a closed path is the total current enclosed by the path multiplied by the permeability of free space) এটাই পরিক্রমণ উপপাদ্য।

ব্যাখ্যা (Explanation) : XY একটি তার যার ভিতর দিয়ে i অ্যাম্পিয়ার প্রবাহ যাচ্ছে [চিত্র 3.11]। ঐ প্রবাহ তারের চতুর্দিকে চৌম্বকক্ষেত্র উৎপন্ন করবে। ঐ চৌম্বক ক্ষেত্রের মধ্যে i প্রবাহকে বেঁচন করে একটি বন্ধ বক্ররেখা C কল্পনা করো। \vec{dl} ঐ রেখার ওপর একটি ক্ষুদ্র দৈর্ঘ্য। ঐ স্থানে তড়িৎপ্রবাহের দরুন চৌম্বক ক্ষেত্র \vec{B} ক্ষুদ্র দৈর্ঘ্য \vec{dl} এর সাথে θ কোণে আনত। এখন, $\vec{B} \cdot \vec{dl}$ এই স্কেলার গুণন সম্পন্ন কর এবং বন্ধ রেখা বরাবর বিভিন্ন বিন্দুতে \vec{dl} নিয়ে ঐ গুণন সম্পন্ন করে ইন্টিগ্রেশন নির্ণয় করো অর্থাৎ, $\oint \vec{B} \cdot \vec{dl}$ নির্ধারণ করো।



$$\text{অ্যাম্পিয়ারের উপপাদ্য অনুযায়ী } \oint \vec{B} \cdot \vec{dl} = \mu_0 i \dots \dots (i)$$

$\oint \vec{B} \cdot d\vec{l}$ কে বলা হয় চৌম্বক ক্ষেত্রের লাইন ইন্টিগ্রাল বা রেখা সমাকল (line integral of magnetic field)। \oint প্রতীকটি বুঝায় যে বক্ররেখার এক বিন্দু থেকে যাত্রা শুরু করে এক পাক ঘোরার সম্পূর্ণ বন্ধ পথ। পূর্বোক্ত (i) নং সমীকরণ হল পরিক্রমণ উপপাদ্যের গাণিতিক রূপ। \vec{B} এবং $d\vec{l}$ এর

অন্তর্বর্তী কোণ θ হওয়ায় লেখা যায় $\oint \vec{B} \cdot d\vec{l} = \oint B dl \cos \theta = \mu_0 i$

বলা বাহুল্য, n বার C বক্ররেখা পরিক্রমণ করলে

$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{l} = \mu_0 ni$$

রেখা সমাকলের পরিপ্রেক্ষিতে অ্যাম্পিয়ারের উপপাদ্যকে নিম্নলিখিতরূপে বিবৃত করা যায় :

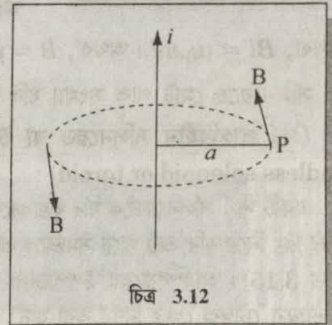
চৌম্বকক্ষেত্রের মধ্যে কোনো বন্ধরেখা বরাবর ঐ ক্ষেত্রের রেখাসমাকলের মান ঐ বন্ধরেখা বেষ্টিত প্রবাহমাত্রার μ_0 গুণ।

অ্যাম্পিয়ারের পরিক্রমণ উপপাদ্য বায়ো সাভার্ট সূত্র থেকে উপপাদন করা যায় ; আবার, বায়ো সাভার্ট সূত্র অ্যাম্পিয়ারের পরিক্রমণ উপপাদ্য থেকে উপপাদন করা যায়। অর্থাৎ, অন্তর্নিহিত বৈজ্ঞানিক তথ্যের ভিত্তিতে এই দুটি উপপাদ্য পরস্পরের তুল্য (equivalent)। তথাপি, কয়েকটি প্রতিসম অবস্থার ক্ষেত্রে অ্যাম্পিয়ারের উপপাদ্য বায়ো-সভার্ট উপপাদ্যের তুলনায় বেশি কার্যকর। ঐ সব ক্ষেত্রে চৌম্বক আবেশ নির্ণয় খুব সহজ হয় যদি আমরা অ্যাম্পিয়ারের উপপাদ্য ব্যবহার করি। পরবর্তী অনুচ্ছেদে দু'একটি উদাহরণ দেওয়া হল।

3.8. অ্যাম্পিয়ারের পরিক্রমণ উপপাদ্যের প্রয়োগ (Application of Ampere's circuital theorem) :

(ক) তড়িৎদাহী ঋজু পরিবাহীর দরুন চৌম্বক ক্ষেত্র (Magnetic field due to a long straight conductor carrying a current) :

i অ্যাম্পিয়ার তড়িৎদাহী ঋজু পরিবাহী থেকে a দূরে একটি বিন্দু P নেওয়া হল। এইরূপ প্রবাহের দরুন আবেশ রেখাগুলি (lines of induction) সমকেন্দ্রিক বৃত্ত হয়। বৃত্তের কেন্দ্র তারের ওপর অবস্থিত এবং বৃত্তগুলির তল তারের দৈর্ঘ্যের সমকোণে থাকে [চিত্র 3.12]। প্রতিসাম্যের (symmetry) জন্য যে-কোনো বৃত্তাকার পথের সর্বত্র ঋজু তড়িৎপ্রবাহের দরুন চৌম্বক ক্ষেত্রের প্রাবল্য সমান এবং ক্ষেত্রের অভিমুখ বৃত্তের স্পর্শক বরাবর (চিত্র দেখ)।



চিত্র 3.12

এখন P বিন্দুতে চৌম্বক ক্ষেত্রের প্রাবল্য B হলে বৃত্তপথ

$$\text{বরাবর চৌম্বক ক্ষেত্রের রেখা সমাকল} = \oint \vec{B} \cdot d\vec{l} = \oint B dl = B \int dl = B \cdot 2\pi a$$

এক্ষেত্রে বৃত্ত পরিবেষ্টিত তড়িৎ প্রবাহ $= i$

অতএব, অ্যাম্পিয়ারের উপপাদ্য অনুযায়ী,

$$B \times 2\pi a = \mu_0 i \text{ অথবা } B = \frac{\mu_0 \cdot i}{2\pi \cdot a}$$

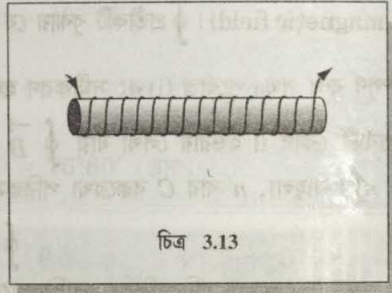
আমরা এই সমীকরণ 3.5 অনুচ্ছেদ বায়োসভার্ট সূত্র থেকে উপপাদন করেছি।

(খ) সলিনয়েডে তড়িৎপ্রবাহের দরুন চৌম্বকক্ষেত্র (Magnetic field due to current in a solenoid)

দীর্ঘ অন্তরিত তারকে একটি অন্তরক চোঙের গায়ে যদি এমনভাবে জড়ানো যায় যে প্রত্যেক পাক

* কেবলমাত্র জয়েন্ট এন্ট্রান্স পরীক্ষার জন্য

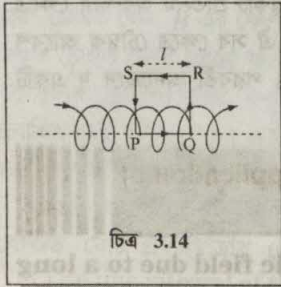
চোঙের অক্ষের সঙ্গে অভিলম্ব হয় তবে ঐ তারকুন্ডলীকে সলিনয়েড বলে (চিত্র 3.13)। সাধারণত সলিনয়েডের দৈর্ঘ্য কুন্ডলীর ব্যাসার্ধ অপেক্ষা অনেক বেশী থাকে। কুন্ডলী দিয়ে তড়িৎপ্রবাহ পাঠালে চৌম্বক ক্ষেত্র উৎপন্ন হবে। ঐ চৌম্বক ক্ষেত্রের বলরেখা অঙ্কন করলে দেখা যায় সলিনয়েডের বাইরের কোনো বিন্দুতে ক্ষেত্রপ্রাবল্য শূন্য কিন্তু ভিতরে অক্ষের উপর সকল বিন্দুতে চৌম্বক ক্ষেত্র সুযম (uniform)। সলিনয়েডের অক্ষস্থিত কোন বিন্দু P তে অ্যাম্পিয়ারের উপপাদ্য প্রয়োগে চৌম্বকক্ষেত্র প্রাবল্য নির্ণয় করতে হলে P বিন্দুর ভিতর দিয়ে PQRS একটি আয়তক্ষেত্র অঙ্কন করো (চিত্র 3.14)। আয়তক্ষেত্রের PQ বাহু সলিনয়েড অক্ষের সমান্তরাল ; অতএব,



চিত্র 3.13

সলিনয়েডের অভ্যন্তরস্থ চৌম্বক ক্ষেত্র \vec{B} এরও সমান্তরাল। ফলে, $\int_P^Q \vec{B} \cdot d\vec{l} = B.l$; আয়তক্ষেত্রের

অন্য তিনবাহুতে $\vec{B} \cdot d\vec{l}$ হবে শূন্য কারণ সলিনয়েডের বাইরে \vec{B} এর মান শূন্য এবং ভিতরে আয়তক্ষেত্রের বাহুর (QR এবং SP) অভিলম্ব। কাজেই PQRS বরাবর চৌম্বক ক্ষেত্রের রেখা সমাকল $\oint \vec{B} \cdot d\vec{l} = Bl$ ।



চিত্র 3.14

ধরো, সলিনয়েডে দৈর্ঘ্য বরাবর প্রতি একক দৈর্ঘ্যে পাকসংখ্যা = n ; তাহলে PQRS আয়তক্ষেত্রের ভিতর দিয়ে মোট nl সংখ্যক পাক অতিক্রম করছে যার প্রতিটি পাকে তড়িৎপ্রবাহ = i ; তাহলে PQRS ক্ষেত্রফলের ভিতর দিয়ে অতিক্রান্ত প্রবাহ = nli

অ্যাম্পিয়ারের পরিক্রমণ উপপাদ্য অনুযায়ী, $\oint \vec{B} \cdot d\vec{l} = \mu_0 nli$

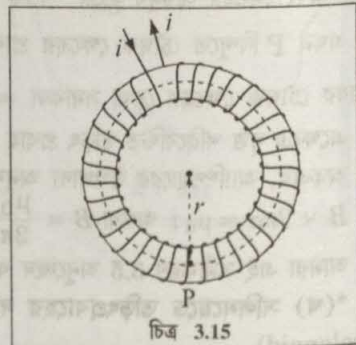
অথবা, $Bl = \mu_0 n.l.i$ অথবা, $B = \mu_0 n.i$

সলিনয়েডে মোট পাক সংখ্যা যদি N হয়, তবে $n = \frac{N}{l}$; অতএব, $B = \frac{\mu_0 Ni}{l}$

(গ) প্রান্তবিহীন সলিনয়েড বা টরয়েডের দ্রুণ চৌম্বকক্ষেত্র (Magnetic field due to an endless solenoid or toroid) :

একটি দীর্ঘ সলিনয়েডকে যদি বৃত্তাকারে ঝাঁকানো হয় তবে তাকে টরয়েড বলে। বিকল্পে, একটি অপরিবাহী বস্তুর রিং নিয়ে যদি তার গায়ে সমভাবে তড়িৎ পরিবাহী তার জড়ানো হয়, তাহলেও একটি টরয়েড পাওয়া যায় [চিত্র 3.15]। অ্যাম্পিয়ারের উপপাদ্যের সাহায্যে এই টরয়েডের অভ্যন্তরে চৌম্বক ক্ষেত্র নির্ণয় করা যায়।

ধরো, টরয়েডের অভ্যন্তরে P বিন্দুতে চৌম্বক ক্ষেত্র নির্ণয় করতে হবে। টরয়েড বৃত্তের সঙ্গে এককেন্দ্রিক ভাবে P বিন্দুর ভিতর দিয়ে একটি বৃত্ত (কাটা কাটা রেখা প্রদর্শিত) কল্পনা করো। টরয়েডের তড়িৎপ্রবাহ i কর্তৃক উৎপন্ন চৌম্বকক্ষেত্রের মান ঐ বৃত্তের প্রতি বিন্দুতে সমান হবে। তাছাড়া বৃত্তের যে-কোনো বিন্দুতে ঐ ক্ষেত্রের অভিমুখ হবে বৃত্তের স্পর্শক বরাবর। চিত্রে প্রদর্শিত পথে তড়িৎপ্রবাহ গেলে চৌম্বক ক্ষেত্রের অভিমুখ হবে ঘড়ির কাঁটার দিকে। বৃত্তের ব্যাসার্ধ r এবং সলিনয়েডের প্রতি একক দৈর্ঘ্যের পাক-সংখ্যা n হলে, বৃত্তের সাথে জড়িত তড়িৎপ্রবাহ = $(2\pi r.n.i)$



চিত্র 3.15

অ্যাম্পিয়ারের উপপাদ্য অনুযায়ী, $\oint \vec{B} \cdot d\vec{l} = \mu_0 (2\pi r.n.) i$

$$\text{অথবা } B \times 2\pi r = \mu_0 (2\pi r.n.) i$$

$$\text{অথবা } B = \mu_0 n i$$

যদি টরয়েডে মোট পাক সংখ্যা হয় N তবে $n = \frac{N}{2\pi r}$;

$$\text{সেক্ষেত্রে, } B = \frac{\mu_0 N i}{2\pi r}.$$

□ EXAMPLE □

একটি টরয়েডের শাঁসের (core) অন্তর্ব্যাসার্ধ 20 cm এবং বহির্ব্যাসার্ধ 21 cm। টরয়েডে 3500 পাক তার জড়ানো আছে। তারে তড়িৎপ্রবাহ 10 A হলে (i) টরয়েডের বাইরে (ii) টরয়েডের শাঁসের ভিতর এবং (iii) টরয়েডের অভ্যন্তরের শূন্য স্থানে চৌম্বকপ্রাবল্য নির্ণয় করো।

$$\text{উঃ। শাঁসের গড় ব্যাসার্ধ } r = \frac{20 + 21}{2} = 20.5 \text{ cm} = 20.5 \times 10^{-2} \text{ m}$$

মোট পাক সংখ্যা $N = 3500$; তারের প্রবাহ $i = 10 \text{ A}$

$$\text{প্রতি একক দৈর্ঘ্যে পাক সংখ্যা } n = \frac{N}{2\pi r} = \frac{3500}{2\pi \times 20.5 \times 10^{-2}} = \frac{3500}{41 \times 10^{-2} \times \pi}$$

(i) টরয়েডের বাইরে চৌম্বক প্রাবল্য শূন্য।

(ii) টরয়েডের শাঁসের ভিতর চৌম্বক প্রাবল্য $B = \mu_0 n i$

$$= 4\pi \times 10^{-7} \times \frac{3500}{41 \times 10^{-2} \times \pi} \times 10$$

tesla

$$= 3.41 \times 10^{-2} \text{ T.}$$

(iii) টরয়েডের অভ্যন্তরে শূন্য স্থানে চৌম্বক প্রাবল্য শূন্য কারণ সেখানে কোনো তড়িৎপ্রবাহ নেই।

3.9.

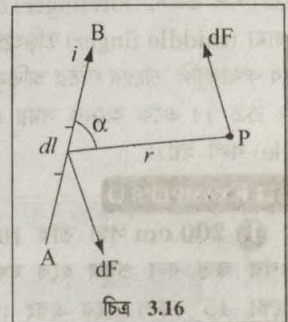
সুষম চৌম্বক ক্ষেত্রে স্থাপিত তড়িৎবাহী ঋজু তারের ওপর প্রযুক্ত বল (Force on a current-carrying straight conductor placed in a uniform magnetic field):

ধরো, P বিন্দুতে m মেরুশক্তির একটি চৌম্বক মেরু রাখা আছে এবং ঐ মেরু থেকে r দূরে কাগজের তলে একটি ঋজু তার AB অবস্থিত। তার দিয়ে i ampere তড়িৎপ্রবাহ যাচ্ছে [চিত্র 3.15]। বায়ো-সভার্ট সূত্রানুযায়ী একটি ক্ষুদ্র এলিমেন্ট dl কর্তৃক P বিন্দুতে উৎপন্ন

$$\text{পন্ন চৌম্বক ক্ষেত্রের প্রাবল্য} = \frac{\mu_0}{4\pi} \cdot \frac{i \cdot dl \cdot \sin \alpha}{r^2}; \text{ এর অভিমুখ হবে}$$

কাগজের তলের অভিলম্ব দিকে।

P বিন্দুতে রাখা চুম্বক মেরুর শক্তি $= m$; তাই ঐ মেরু কর্তৃক



চিত্র 3.16

অনুভূত বল $dF = \text{মেরুশক্তি} (m) \times \text{চৌম্বক ক্ষেত্র-প্রাবল্য} = \frac{\mu_0}{4\pi} \cdot \frac{m i \cdot dl \cdot \sin \alpha}{r^2}$;

এই বল কাগজের তলের অভিলম্ব দিকে ক্রিয়া করে এবং সম্মুখ থেকে পিছনের দিকে অভিমুখী।

এখন, নিউটনের তৃতীয় গতি সূত্রানুযায়ী প্রত্যেক ক্রিয়ারই সমান ও বিপরীত প্রতিক্রিয়া আছে। সুতরাং তড়িৎবাহী ক্ষুদ্র এলিমেন্ট idl যেমন m মেরুশক্তির মেরুর ওপর বল প্রয়োগ করে, চৌম্বক মেরুও তেমনি তড়িৎবাহী পরিবাহী dl অংশে সমান ও বিপরীত বল প্রয়োগ করবে। অর্থাৎ পরিবাহীর ক্ষুদ্র অংশ যে

প্রতিক্রিয়া বল অনুভব করবে তা $dF = \frac{\mu_0}{4\pi} \cdot \frac{m i \cdot dl \cdot \sin \alpha}{r^2}$

এখন m মেরুশক্তির কোনো মেরু r দূরে যে চৌম্বকক্ষেত্র সৃষ্টি করে তা B ধরলে, $B = \frac{\mu_0}{4\pi} \cdot \frac{m}{r^2}$.

∴ পরিবাহীর dl ক্ষুদ্র অংশে প্রযুক্ত বল $dF = B i \cdot dl \sin \alpha$

ভেক্টর প্রতীক অনুযায়ী $d\vec{F} = i(\vec{dl} \times \vec{B})$

সমস্ত পরিবাহীর বল দরুন $\vec{F} = \int d\vec{F} = \int i(\vec{dl} \times \vec{B}) = i(\vec{l} \times \vec{B})$

বলের মান $F = i l B \sin \alpha$

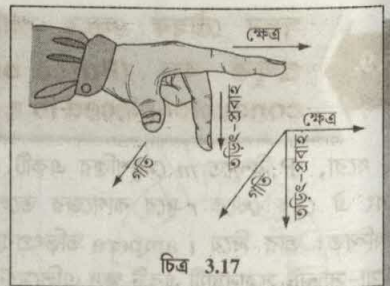
(a) তারের প্রতি একক দৈর্ঘ্যে ($l = 1$) প্রযুক্ত বল $F = B i \sin \alpha$; যখন $\alpha = 90^\circ$ তখন বল $F = B i$

(b) পরিবাহীতে যদি n সংখ্যক তারের পাক থাকে এবং প্রত্যেক পাকের তড়িৎপ্রবাহ যদি i ampere হয় তবে পরিবাহীর ওপর প্রযুক্ত বল $F = n \cdot B \cdot i \cdot l$; প্রলম্বিত কুণ্ডলী (suspended coil) গ্যালভানোমিটারে এই বলের প্রয়োগ দেখতে পাওয়া যায় [3.17 অনুচ্ছেদ দ্রষ্টব্য]।

(c) যদি পরিবাহী B চৌম্বকক্ষেত্রের সমান্তরালে থাকে, তবে $\alpha = 0$ এবং সেক্ষেত্রে পরিবাহীর ওপর প্রযুক্ত বল $F = 0$.

3.10. তারের গতির অভিমুখ নির্ণয় : ফ্লেমিং-এর বাম হস্ত নিয়ম (Fleming's left hand rule) :

তড়িৎপ্রবাহের দিক ও চৌম্বক ক্ষেত্রের দিক অনুযায়ী পরিবাহী তার কোন্ দিকে বিক্ষিপ্ত হবে তা ফ্লেমিং-এর বামহস্ত নিয়ম হতে জানা যায়। নিয়মটি নিম্নরূপ : বাম হস্তের প্রথম তিনটি আঙ্গুল পরস্পরের সাথে সমকোণে রেখে প্রসারিত করো। যদি তর্জনী (forefinger) চৌম্বক ক্ষেত্রের দিক এবং মাধ্যমা (middle finger) তড়িৎপ্রবাহের দিক নির্দেশ করে তবে বৃদ্ধাঙ্গুলি তারের গতির অভিমুখ নির্দেশ করবে (3.16 নং চিত্র)। একে অনেক সময় মোটর নিয়ম (motor rule) বলা হয়।



চিত্র 3.17

□ EXAMPLES □

1. 200 cm লম্বা তার 10 A প্রবাহ নিয়ে 0.3 T চৌম্বকক্ষেত্রে স্থাপিত আছে। তারের ওপর কত বল প্রযুক্ত হবে যখন (i) তার চৌম্বকক্ষেত্রের অভিলম্ব (ii) তার চৌম্বকক্ষেত্রের সঙ্গে 45° কোণ করে এবং (iii) তার চৌম্বকক্ষেত্রের সমান্তরাল থাকে।

উঃ। (i) তার চৌম্বক ক্ষেত্রের অভিলম্ব হলে, তারের ওপর বল = $B \cdot i \cdot l$ newton

$$= 0.3 \times 10 \times \frac{200}{100} = 6 \text{ N.}$$

(ii) তার চৌম্বক ক্ষেত্রের সঙ্গে α কোণ করলে,

তারের ওপর বল = $B \cdot i \cdot l \sin \alpha$ [3.9(a) অনুচ্ছেদ]

$$= 0.3 \times 10 \times 2 \sin 45^\circ \quad [200 \text{ cm} = 2 \text{ m}]$$

$$= 6 \times 0.707 = 4.242 \text{ N} \quad [\sin 45^\circ = 0.707]$$

(iii) তার চৌম্বক ক্ষেত্রের সমান্তরাল হলে $\alpha = 0$, $\sin \alpha = 0$; কাজেই তারের ওপর বল = 0.

২. XYZ তারের একটি সমবাহু ত্রিভুজ। তারের প্রতি বাহুর দৈর্ঘ্য 1 মিটার এবং তার দিয়ে 4A প্রবাহ তিরচিহ্ন বরাবর যাচ্ছে। YZ বাহুর সমান্তরালে 0.2×10^{-4} tesla চৌম্বক ক্ষেত্র $\left(\vec{B}\right)$ ক্রিয়া করছে। XY, YZ, এবং ZX—এই তিনটি বাহুতে কার্যরত বলের মান নির্ণয় করো।

উঃ। প্রতি বাহুর দৈর্ঘ্য $l = 1 \text{ m}$

YZ বাহুর ওপর ক্রিয়ারত বল $\vec{F}_{yz} =$

$$i. \left(\vec{l} \times \vec{B} \right)$$

$$\begin{aligned} \text{অথবা } F_{yz} &= i \cdot l \times B \times \sin \alpha \\ &= 4 \times 1 \times 0.2 \times 10^{-4} \times \sin 0^\circ \\ &= 0 \end{aligned}$$

[চৌম্বক ক্ষেত্র \vec{B} এবং YZ সমান্তরাল]

ZX বাহুর ওপর বল $\vec{F}_{zx} = i. \left(\vec{l} \times \vec{B} \right)$

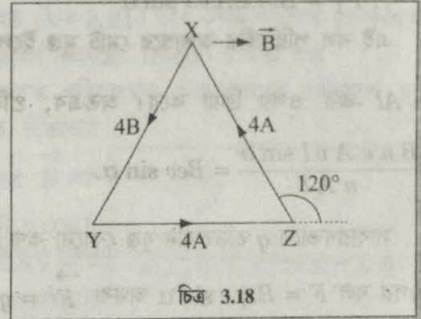
$$\begin{aligned} \text{অথবা } F_{zx} &= 4 \times 1 \times 0.2 \times 10^{-4} \times \sin 120^\circ \quad (\alpha = 120^\circ) \\ &= 0.8 \times 10^{-4} \times \sqrt{3}/2 \\ &= 0.69 \times 10^{-4} \text{ N.} \end{aligned}$$

ভেক্টর ক্রশ গুণনের নিয়মানুযায়ী, এই বল কাগজের তলের অভিলম্ব এবং ওপর থেকে নীচের দিকে।

অনুরূপভাবে, XY বাহুর ওপর বল $\vec{F}_{xy} = i. \left(\vec{l} \times \vec{B} \right)$

$$\begin{aligned} \text{অথবা } F_{xy} &= i \times l \times B \times \sin 120^\circ \quad [\alpha = 120^\circ] \\ &= 4 \times 1 \times 0.2 \times 10^{-4} \times \sqrt{3}/2 \\ &= 0.69 \times 10^{-4} \text{ N.} \end{aligned}$$

একইভাবে এই বলের অভিমুখ কাগজের তলের অভিলম্ব এবং নীচু থেকে উপরের দিকে।



চিত্র 3.18

3.11.

চৌম্বক ক্ষেত্রে গতিশীল তড়িতাধানের ওপর বল (Force on a charge moving in a magnetic field):

আমরা জানি কোনো পরিবাহীর নেগেটিভ প্রান্ত হতে পজিটিভ প্রান্তে নেগেটিভ তড়িৎবাহী ইলেকট্রনের

অণুপ্রবাহ (drift) হলে পরিবাহীতে তড়িৎপ্রবাহের উৎপত্তি হয়।

সুতরাং বলা যায় যে তড়িতাধান গতিশীল হলে তা তড়িৎপ্রবাহের সমতুল্য হয় এবং চৌম্বক ক্ষেত্রের ভিতর গতিশীল হলে তড়িৎবাহী তারের মত তড়িতাধানও বল অনুভব করে।

মনে করো, l দৈর্ঘ্যের পরিবাহীতে i প্রবাহমাত্রা পাঠিয়ে

তাকে \vec{B} চৌম্বকক্ষেত্রে রাখা হল। পরিবাহী যে-বল অনুভব করবে তা F_1 ধরলে $F_1 = B \cdot i \cdot l \sin \alpha$ [3.9. অনুচ্ছেদ]

কিন্তু ইলেকট্রনের অণুপ্রবাহ বেগ (drift velocity) v হলে, $i = n e A \cdot v$ যেখানে n = পরিবাহীর প্রতি আয়তনে ইলেকট্রন সংখ্যা; e = ইলেকট্রনের তড়িতাধান; A = পরিবাহীর প্রস্থচ্ছেদ। [প্রথম খন্ড 2.2 অনুচ্ছেদ প্রবাহী তড়িৎবিজ্ঞান]

$$\therefore F_1 = B \cdot n \cdot e \cdot A \cdot v \cdot l \sin \alpha$$

এই বল পরিবাহীর অভ্যন্তরে মোট মুক্ত ইলেকট্রন

$$n A l \text{ -এর ওপর ক্রিয়া করে। অতএব, প্রতি ইলেকট্রনের ওপর প্রযুক্ত বল } F = \frac{F_1}{n A l} = \frac{B n e A v l \sin \alpha}{n A l} = B e v \sin \alpha.$$

সাধারণভাবে q তড়িতাধান যুক্ত কোনো কণা \vec{B} চৌম্বক ক্ষেত্রে \vec{v} বেগে গতিশীল থাকলে, আধানের ওপর বল $F = B \cdot q \cdot v \sin \alpha$ অথবা $\vec{F} = q (\vec{v} \times \vec{B})$ । এই বল চৌম্বক ক্ষেত্র ও তড়িতাধানের গতি—উভয়েরই লম্বভাবে ক্রিয়া করে [চিত্র 3.17]।

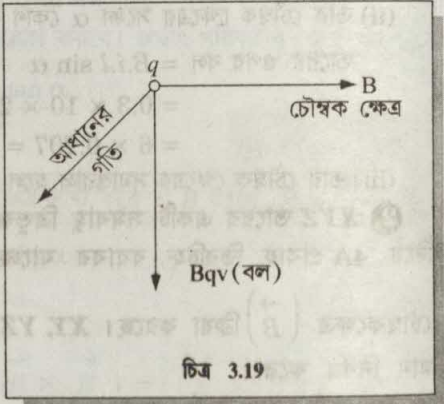
বিশেষ ক্ষেত্র (Special cases) :

(i) আধান গতিশীল না থাকলে অর্থাৎ $v = 0$ হলে $F = 0$; কাজেই চৌম্বক ক্ষেত্রে স্থির তড়িতাধান কোনো বল অনুভব করে না।

(ii) যদি $\alpha = 0^\circ$ অথবা 180° হয়, অর্থাৎ তড়িতাধান চৌম্বক ক্ষেত্রের সমান্তরালে গতিশীল থাকলে $F = 0$; কাজেই চৌম্বকক্ষেত্রের সমান্তরালে গতিশীল তড়িতাধান কোনো বল অনুভব করে না।

(iii) যদি $\alpha = 90^\circ$ হয় অর্থাৎ তড়িতাধান চৌম্বকক্ষেত্রের সঙ্গে সমকোণে গতিশীল থাকলে $F = B \cdot q \cdot v$ ।

চৌম্বকক্ষেত্রে গতিশীল কোনো তড়িতাধানযুক্ত কণার ওপর প্রযুক্ত বলের এটাই সর্বাধিক মান।



3.12. সাইক্লোট্রোন কম্পাঙ্ক (Cyclotron Frequency) :

আমরা পূর্ব অনুচ্ছেদে দেখেছি যে আহিত কণার গতিবেগ \vec{v} চৌম্বকক্ষেত্র \vec{B} এর সমকোণে হলে ($\alpha = 90^\circ$) কণার ওপর বল $F = B \cdot q \cdot v$ । এই বল চৌম্বকক্ষেত্র এবং কণার গতিবেগ উভয়েরই সমকোণে ক্রিয়া করে। আমরা জানি কণার গতিবেগের সঙ্গে বল সর্বদা অভিলম্ব হলে কণা একটি বৃত্তপথে চালিত হয়। সুতরাং আহিত কণাটিও অভিলম্ব চৌম্বকক্ষেত্রে বৃত্তাকার পথে গতিশীল হবে। বলা

বাহুল্য $F = B.q.v$. বল কণার অভিকেন্দ্র বল সরবরাহ করে। কণার ভর m এবং বৃত্তপথের ব্যাসার্ধ r হলে,

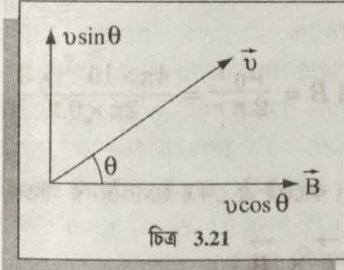
$$\frac{mv^2}{r} = B.q.v; \therefore r = \frac{mv}{B.q}$$

বৃত্তপথ বরাবর কণাটির আবর্তবেগের কম্পাঙ্ক f হলে,

$$f = \frac{v}{2\pi r} = \frac{1}{2\pi} \cdot \frac{B.q}{m} = \frac{B.q}{2\pi m}; \text{ দেখা যাচ্ছে যে}$$

আবর্তবেগের কম্পাঙ্ক কণার গতিবেগের ওপর নির্ভর করে না। এই কম্পাঙ্ক-কে সাইক্লোট্রোন কম্পাঙ্ক বা জাইরোকম্পাঙ্ক (gyrofrequency) বলা হয়।

একটি নির্দিষ্ট আহিত কণার বেলায় (q এবং m ধ্রুবক) কম্পাঙ্ক f কেবলমাত্র চৌম্বকক্ষেত্র B এর ওপর নির্ভর করে।

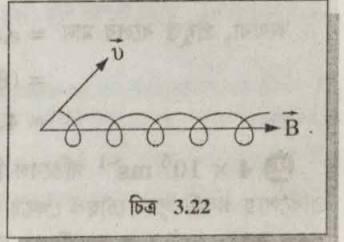


চিত্র 3.21

আহিত কণার গতিবেগ যদি \vec{B} চৌম্বক ক্ষেত্রের সাথে θ কোণে অনত হয় (চিত্র 3.21) তবে কণার গতিপথ বৃত্তাকার হয় না; গতিপথ জটিল স্প্রিংয়ের (helix) আকার পায়।

এক্ষেত্রে, কণার গতিবেগকে চৌম্বকক্ষেত্রের অভিমুখে এবং অভিলম্ব দিকে বিভাজন

করলে $v \cos \theta$ এবং $v \sin \theta$ উপাংশ পাই। চৌম্বকক্ষেত্র \vec{B} এর অভিমুখে কণার ওপর কোনো বল ক্রিয়া করে না বলে $v \cos \theta$ উপাংশ অপরিবর্তিত থাকে। কণা ঐ স্থির উপাংশ গতিবেগ নিয়ে সোজা পথে যেতে চেষ্টা করে। অভিলম্ব উপাংশ ($v \sin \theta$) চৌম্বকক্ষেত্রের সমকোণে আছে বলে কণা চৌম্বকক্ষেত্র দ্বারা যে-বল অনুভব করে তা কণাকে বৃত্তপথে গতিশীল করার চেষ্টা করে। যুগপৎ এই দুটি গতিবেগ কণাকে প্যাঁচালো স্প্রিং-এর মতো গতিপথে চালনা করে (চিত্র 3.22)।



চিত্র 3.22

3.13 লোরেঞ্জ বল (Lorentz Force):

কোনো গতিশীল তড়িতাধান একই সঙ্গে তড়িৎক্ষেত্র এবং চৌম্বকক্ষেত্রের ভিতর দিয়ে গেলে মোট যে বল অনুভব করে, তাকে লোরেঞ্জ বল বলা হয়।

ধরা যাক, \vec{E} তীব্রতার তড়িৎক্ষেত্রের ভিতর দিয়ে একটি তড়িতাধান e চলে গেল। এক্ষেত্রে আধানের ওপর প্রযুক্ত তড়িৎ বল $\vec{F}_1 = e \cdot \vec{E}$. বলাবাহুল্য, এই বলের অভিমুখ তড়িৎক্ষেত্রের অভিমুখের দিকে। এক্ষেত্রে উল্লেখযোগ্য যে তড়িৎক্ষেত্রে আধান e স্থির থাকুক কী গতিশীল থাকুক, প্রযুক্ত বলের মান একই হবে।

আবার, একই অঞ্চলে চৌম্বকক্ষেত্রের তীব্রতা যদি \vec{B} হয় এবং তড়িতাধান e এর গতিবেগ যদি \vec{v} হয়, তাহলে আধানের ওপর প্রযুক্ত চৌম্বক বল $\vec{F}_2 = e(\vec{v} \times \vec{B})$; এই বল $(\vec{v} \times \vec{B})$ এর অভিমুখে।

দুই ক্ষেত্র একই সঙ্গে ক্রিয়া করলে, তড়িতাধানের ওপর প্রযুক্ত মোট বল উক্ত দুই বলের ভেক্টর

সমষ্টির সমান; অর্থাৎ মোট বল $\vec{F} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 = e(\vec{E} + \vec{v} \times \vec{B})$ । এটাই লোরেন্স বল।

প্রসঙ্গত উল্লেখযোগ্য যে চৌম্বকক্ষেত্রে তড়িতাধান স্থির থাকলে, আধানের ওপর কোনো বল প্রযুক্ত হয় না।

□ EXAMPLES □

1 একটি দীর্ঘ ঝড়ু তারে 3 A তড়িৎপ্রবাহ যাচ্ছে। তার থেকে 0.1 m দূরে এবং তারের সমান্তরালে কিন্তু তড়িৎপ্রবাহের বিপরীত দিকে একটি ইলেকট্রন $5 \times 10^4 \text{ ms}^{-1}$ বেগে গতিশীল আছে। তড়িৎপ্রবাহের দরুন উৎপন্ন চৌম্বকক্ষেত্র ইলেকট্রনের ওপর কত বল প্রয়োগ করবে? ইলেকট্রনের তড়িতাধান $e = 1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$ এবং $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}$.

উঃ তড়িৎবাহী দীর্ঘ ও ঝড়ু তার থেকে r দূরে চৌম্বক ক্ষেত্র $B = \frac{\mu_0 i}{2\pi r} = \frac{4\pi \times 10^{-7} \times 3}{2\pi \times 0.1}$
 $= 6 \times 10^{-6} \text{ Wb/m}^2$ (অথবা tesla). [3.5 অনুচ্ছেদ দেখ]

এই চৌম্বক ক্ষেত্রের অভিমুখ তড়িৎ-প্রবাহের অভিমুখের লম্ব। কাজেই ঐ ক্ষেত্র ইলেকট্রনের গতির অভিমুখেরও লম্ব। এখন, ইলেকট্রনের ওপর প্রযুক্ত বল $= e(\vec{v} \times \vec{B})$

অথবা, প্রযুক্ত বলের মান $= e.v.B \sin \theta$
 $= (6 \times 10^{-6}) \times (1.6 \times 10^{-19}) \times (5 \times 10^4) \quad [\theta = 90^\circ]$
 $= 4.8 \times 10^{-20} \text{ newton.}$

2. $4 \times 10^5 \text{ ms}^{-1}$ গতিবেগ নিয়ে একগুচ্ছ প্রোটন (তড়িতাধান $q = 1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$) 0.4 T প্রাবল্যের একটি সুখম চৌম্বক ক্ষেত্রে প্রবেশ করল। প্রোটন গুচ্ছের গতিবেগ চৌম্বক ক্ষেত্রের সঙ্গে 60° কোণ করে। প্রোটন যে কুণ্ডলীকৃত (helical) গতিপথ অনুসরণ করবে তার ব্যাসার্ধ এবং পর্যায়কাল নির্ণয় করো। $m = 1.67 \times 10^{-27} \text{ kg}$.

উঃ চৌম্বক ক্ষেত্রের সমান্তরাল প্রোটনের গতিবেগের উপাংশ $v_h = 4 \times 10^5 \times \cos 60^\circ = 2 \times 10^5 \text{ ms}^{-1}$

চৌম্বক ক্ষেত্রের অভিলম্বে প্রোটনের গতিবেগের উপাংশ $v_n = 4 \times 10^5 \times \sin 60^\circ = 2\sqrt{3} \times 10^5 \text{ ms}^{-1}$.

চৌম্বক ক্ষেত্রের সমান্তরাল উপাংশ অপরিবর্তিত থাকবে এবং অভিলম্ব উপাংশের দরুন প্রোটন বৃত্তাকার পথে চালিত হবে। বৃত্তের ব্যাসার্ধ r হলে,

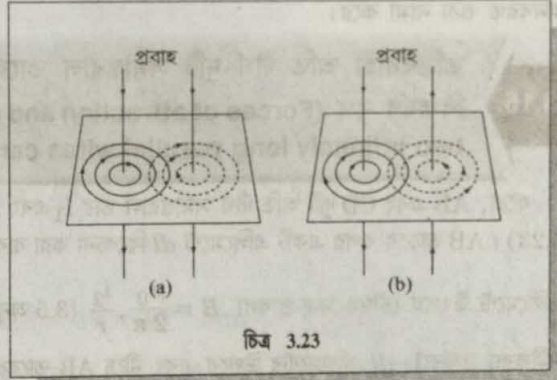
$$qv_n.B = \frac{mv_n^2}{r} \text{ অথবা, } r = \frac{mv_n}{qB}.$$

$$\therefore r = \frac{(1.67 \times 10^{-27}) \times (2\sqrt{3} \times 10^5)}{1.6 \times 10^{-19} \times 0.4} = 0.9 \times 10^{-2} \text{ m} = 0.9 \text{ cm}$$

$$\text{পর্যায়কাল } T = \frac{2\pi r}{v_n} = \frac{2 \times 3.14 \times 0.9 \times 10^{-2}}{2\sqrt{3} \times 10^5} = 1.63 \times 10^{-7} \text{ s.}$$

3.14. দুই তড়িৎপ্রবাহের পারস্পরিক ক্রিয়া (Action of current on current) :

আমরা পূর্বে দেখেছি, তড়িৎদ্বাহী পরিবাহীকে চৌম্বকক্ষেত্রে রাখলে পরিবাহী একটি বল অনুভব করে। এই বলের অভিমুখ ফ্লেমিং-এর বাম হস্ত নিয়ম হতে নির্ণয় করা যায়। এখন যদি দুটি তড়িৎদ্বাহী তার কাছাকাছি রাখা যায় তবে প্রত্যেক তারের তড়িৎপ্রবাহ কর্তৃক সৃষ্ট চৌম্বকক্ষেত্র অপর তারে বলপ্রয়োগ করবে। 3.20 (a) ও (b) নং চিত্রে দুটি সমান্তরাল তার দেখানো হয়েছে। (a) নং চিত্রে উভয় প্রবাহ একমুখী এবং (b) নং চিত্রে বিপরীত মুখী। উভয়ের বেলাতেই একের চৌম্বকক্ষেত্র অন্যের ওপর যে বল প্রয়োগ করবে তা ফ্লেমিং-এর বামহস্ত নিয়ম হতে নির্ণয় করলে দেখা যাবে প্রথম ক্ষেত্রে উভয় তারের মধ্যে আকর্ষণ ও দ্বিতীয় ক্ষেত্রে বিকর্ষণ বল ক্রিয়া করে।



চিত্র 3.23

(ক) সমান্তরাল প্রবাহের নিয়ম (Laws of parallel currents) :

- (i) দুটি একমুখী সমান্তরাল প্রবাহ পরস্পরকে আকর্ষণ করে। (ii) দুটি বিপরীতমুখী সমান্তরাল প্রবাহ পরস্পরকে বিকর্ষণ করে।

(খ) কৌণিক প্রবাহের নিয়ম (Laws of angular currents) :

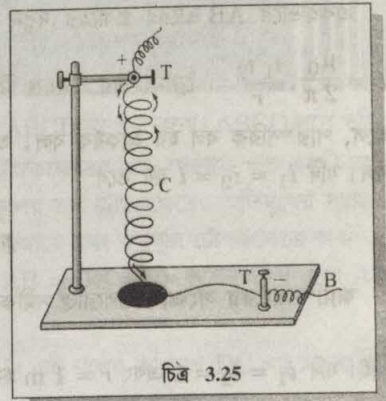
- (i) দুটি তড়িৎপ্রবাহের অভিমুখ যদি পরস্পরের সাথে কোণ উৎপন্ন করে এবং দুটি প্রবাহই যদি ঐ কোণের চূড়ার (apex) অভিমুখে অগ্রসর হয় অথবা চূড়া থেকে অপসৃত হয় তবে তারা পরস্পরকে আকর্ষণ করে [চিত্র 3.24 (i) এবং (ii)]।
(ii) প্রবাহ দুটির একটি যদি চূড়ার অভিমুখে অগ্রসর হয় এবং অপরটি চূড়া থেকে দূরে সরে যায়, তবে তারা পরস্পরকে বিকর্ষণ করে [চিত্র 3.24 (iii)]

সমান্তরাল প্রবাহের নিয়ম পরীক্ষা : (i) রজ্জের স্পন্দনশীল

কুণ্ডলী : (Roget's vibrating spiral) :

এই কুণ্ডলী দ্বারা দুটি একমুখী

সমান্তরাল প্রবাহের ভিতর আকর্ষণ দেখানো যায়। C একটি সরু তামার তারের কুণ্ডলী বা স্প্রিং [চিত্র 3.25] স্প্রিংয়ের ওপর প্রাপ্ত একটি বন্ধনী T-এর সাথে যুক্ত। নীচের প্রাপ্ত একটি ভার (load) লাগানো থাকে। সাধারণ অবস্থায় এই ভারটি B-পাটাতনের ওপর একটি গর্তে রাখা পারদের সাথে স্পর্শযুক্ত। পারদের সাথে অপর একটি বন্ধনী T সংযুক্ত। T-T বন্ধনীদ্বয়ের ভিতর তড়িৎ কোশ লাগালে স্প্রিং এর ভিতর দিয়ে তড়িৎপ্রবাহ যাবে।



চিত্র 3.25

প্রত্যেক দুটি পরপর পাকের ভিতর তড়িৎপ্রবাহ সমান্তরাল ও একমুখী। ফলে পাক দুটি পরস্পরকে আকর্ষণ করবে এবং এই আকর্ষণ প্রত্যেক দুটি পরপর পাকের ভিতর ক্রিয়া করবে। এতে কুণ্ডলী সংকুচিত হয়। কুণ্ডলী সংকুচিত হলেই ভার পারদ হতে উঠে আসে। তখন বর্তনী ছিন্ন হয় এবং তড়িৎ প্রবাহ বন্ধ হয়ে যায়। প্রবাহ বন্ধ হলে আকর্ষণ বল আর ক্রিয়া করে না। তখন স্প্রিং-এর তলায় ভারের জন্য স্প্রিং প্রসারিত হয় এবং পুনরায় পারদ স্পর্শ করে। এভাবে যতক্ষণ প্রবাহ চলে ততক্ষণ কুণ্ডলী অনবরত ওঠা নামা করে।

3.15.

তড়িৎবাহী অতি দীর্ঘ দুটি সমান্তরাল তারের ভিতর আকর্ষণ ও বিকর্ষণ বল (Forces of attraction and repulsion between two infinitely long parallel wires carrying current) :

ধরো, AB এবং CD দুটি অতি দীর্ঘ সমান্তরাল তার i_1 এবং i_2 অ্যাম্পিয়ার প্রবাহ বহন করছে (চিত্র 3.23)। AB তারের ওপর একটি এলিমেন্টে dl বিবেচনা করা যাক। CD তারের প্রবাহ i_2 -এর জন্য dl

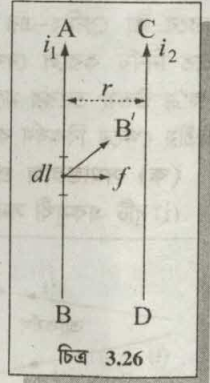
এলিমেন্টে উৎপন্ন চৌম্বকক্ষেত্র প্রাবল্য $B = \frac{\mu_0}{2\pi} \cdot \frac{i_2}{r}$ [3.5 অনুচ্ছেদের (i) নং সমীকরণ দ্রষ্টব্য]। dl এলিমেন্টের উপরে এবং নীচে AB তারের অংশের জন্য

চৌম্বক ক্ষেত্র শূন্য। অতএব dl এলিমেন্টে মোট চৌম্বক ক্ষেত্র $B = \frac{\mu_0}{2\pi} \cdot \frac{i_2}{r}$ এই

ক্ষেত্রের অভিমুখ AB তারের অভিলম্ব (PB')। অতএব dl এলিমেন্টের উপর

$$\text{প্রযুক্ত বল } dF = \left(i_1 dl \times B \right) = \frac{\mu_0}{2\pi} \cdot \frac{i_1 \cdot i_2 dl}{r} ;$$

এই বলের অভিমুখ কাগজের তলে থেকে AB তারের অভিলম্ব। এই অভিমুখ ফ্রেমিং-এর বামহস্ত নিয়ম থেকে পাওয়া যায়।



অতএব, AB তারের dl এলিমেন্ট CD তারের দিকে যে বলে আকৃষ্ট হবে তা

$$dF = i_1 dl \cdot \frac{\mu_0}{2\pi} \cdot \frac{i_2}{r}$$

$$\therefore \text{AB তারের প্রতি একক দৈর্ঘ্যে প্রযুক্ত বল} = \frac{dF}{dl} = \frac{\mu_0 \cdot i_1 i_2}{2\pi r}$$

একইভাবে AB তারের প্রবাহের দরুন CD তারের প্রতি একক দৈর্ঘ্যের ওপর প্রযুক্ত বল হবে

$F = \frac{\mu_0}{2\pi} \cdot \frac{i_1 i_2}{r}$; ফ্রেমিং-এর বামহস্ত নিয়ম প্রয়োগ করলে দেখা যায় যে দুই তারে প্রবাহ সমমুখী হলে, পারস্পরিক বল হয় আকর্ষক বল; আর প্রবাহ বিপরীতমুখী হলে, পারস্পরিক বল হয় বিকর্ষক বল। যদি $i_1 = i_2 = i$ হয় তবে

$$F = \frac{\mu_0}{2\pi} \cdot \frac{i^2}{r}$$

অ্যাম্পিয়ারের সংজ্ঞা : উপরোক্ত সমীকরণ থেকে আমরা এস্. আই. পদ্ধতিতে অ্যাম্পিয়ারের সংজ্ঞা

পাই। যদি $i_1 = i_2 = 1$ এবং $r = 1$ m হয় তবে $F = \frac{\mu_0}{2\pi} = \frac{4\pi \times 10^{-7}}{2\pi} = 2 \times 10^{-7} \text{ Nm}^{-1}$.

সংজ্ঞা : শূন্য মাধ্যমে 1 m ব্যবধানে রাখা সুদীর্ঘ দুটি ঋজু এবং সমান্তরাল তারে যে স্থির তড়িৎ প্রবাহ প্রবাহিত হলে, তাদের প্রতি মিটার দৈর্ঘ্যে 2×10^{-7} নিউটন বল ক্রিয়া করবে সেই প্রবাহমাত্রাকে 1 অ্যাম্পিয়ার বলা হবে।

1946 খ্রিস্টাব্দে International committee of weights and measures অ্যাম্পিয়ারের উপরোক্ত সংজ্ঞা ধার্য করেন।

□ EXAMPLES □

1. দুটি সমান্তরাল দীর্ঘ তার যথাক্রমে 3 A এবং 4 A প্রবাহ বহন করছে। তার দুটির ব্যবধান 10 cm হলে, একটি তার অপরটির ওপর কত বল প্রয়োগ করবে ?

উঃ। $F = \frac{\mu_0}{2\pi} \times \frac{i_1 i_2}{r}$; এখানে, $\frac{\mu_0}{2\pi} = 2 \times 10^{-7}$; $i_1 = 3A$; $i_2 = 5A$ এবং $r = 10$ cm = 0.1 m.

$$\therefore F = \frac{2 \times 10^{-7} \times 3 \times 5}{0.1} \text{ Nm}^{-1} = 30 \times 10^{-6} \text{ Nm}^{-1}.$$

2. দুটি খুব লম্বা পরিবাহী তার শূন্যে 4 cm দূরত্বে আছে। একটির তড়িৎপ্রবাহ হল 25 ampere ও অপরটির 5 ampere। তাহলে পরিবাহীর কতখানি দৈর্ঘ্য 125 dyne বলের সম্মুখীন হবে, সেটা নির্ণয় করো।

উঃ। C.G.S. পদ্ধতিতে প্রতি একক দৈর্ঘ্য বল $F = \frac{2 i_1 i_2}{r}$

$$\therefore F = 2 \times \frac{25}{10} \times \frac{5}{10} \times \frac{1}{4} \text{ dyne cm}^{-1} = \frac{5}{8} \text{ dyne cm}^{-1}$$

$$[i_1 = \frac{25}{10} \text{ e.m.u. এবং } i_2 = \frac{5}{10} \text{ e.m.u.}]$$

$$\text{প্রয়োজনীয় দৈর্ঘ্য } l \text{ cm হলে, } \frac{5}{8} \times l = 125 \text{ অথবা } l = 200 \text{ cm.}$$

[দ্রঃ ছাত্রছাত্রীরা অঙ্কটি S.I.পদ্ধতিতে করার চেষ্টা করবে।]

3.16. (Torque experienced by a current loop placed in a uniform magnetic field) :

→ সুযম চৌম্বকক্ষেত্রে রাখা চতুষ্কোণ তার কুণ্ডলী বা লুপ ABCD বিবেচনা করো। ABCD লুপে তড়িৎ প্রবাহ i অ্যাম্পিয়ার ঘড়ির কাঁটার বিপরীত দিকে যাচ্ছে। চৌম্বকক্ষেত্রের অভিলম্বভাবে গত একটি অক্ষ সাপেক্ষে লুপটি আবর্তনে সক্ষম। ধরো, কোনো এক সময় লুপের তল চৌম্বকক্ষেত্রের অভিমুখের সাথে θ কোণ করে আছে। চতুষ্কোণ লুপের প্রতিটি বাহুতে তড়িৎপ্রবাহ আছে এবং বাহুগুলি চৌম্বকক্ষেত্রে অবস্থিত বলে, প্রত্যেক বাহু বল অনুভব করবে [চিত্র 3.24]। ধর, $AB = DC = b =$ লুপের প্রস্থ এবং $AD = BC = l =$ লুপের দৈর্ঘ্য।

(i) DC বাহুর ওপর প্রযুক্ত বল $\vec{F}_1 = i (\vec{l} \times \vec{B})$ । এই বলের অভিমুখ DC বাহুর মধ্যবিন্দু দিয়ে খাড়া নিম্নমুখী (3.8 অনুচ্ছেদ)।

(ii) BA বাহুর ওপর প্রযুক্ত বল $\vec{F}_2 = i(\vec{l} \times \vec{B})$ ।

এই বলের অভিমুখ AB বাহুর মধ্যবিন্দু দিয়ে খাড়া উর্ধ্বমুখী।

\vec{F}_1 এবং \vec{F}_2 বল দুটি লুপের অক্ষ বরাবর বিপরীত দিকে ক্রিয়া করে বলে এবং তাদের মান সমান বলে তারা লুপের ওপর কোনো টর্ক প্রয়োগ করে না। তাছাড়া বলদ্বয়ের লব্ধি শূন্য হওয়ায় উল্লম্ব দিকে — নিচে অথবা উপরে — লুপের কোনো সরণ হয় না।

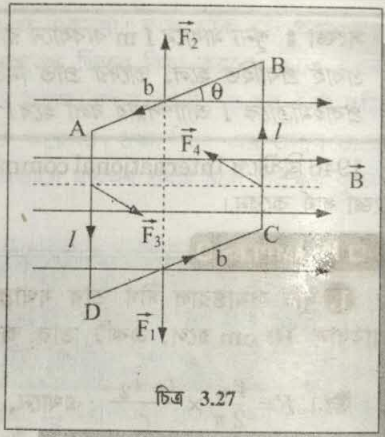
(iii) AD বাহুর ওপর প্রযুক্ত বল $\vec{F}_3 = i(\vec{l} \times \vec{B})$

)। এই বল \vec{l} এবং \vec{B}

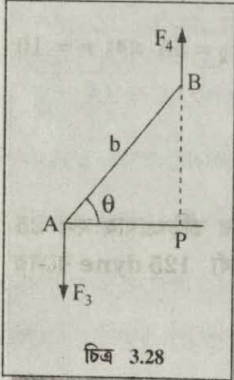
উভয়ের অভিলম্ব এবং পাঠকের দিকে ক্রিয়াশীল।

(iv) CB বাহুর ওপর প্রযুক্ত বল $\vec{F}_4 = i(\vec{l} \times \vec{B})$ । এই বল পাঠক হতে দূরের দিকে ক্রিয়া করবে।

চিত্র থেকে দেখা যায় \vec{F}_3 এবং \vec{F}_4 বল দুটি সমান, সমান্তরাল এবং বিপরীতমুখী। এরা একটি দ্বন্দ্ব গঠন করে এবং লুপকে উল্লম্ব অক্ষ সাপেক্ষে ঘুরিয়ে দেয়।



চিত্র 3.27



চিত্র 3.28

দ্বন্দ্বের ভ্রামক (Moment of the torque):

দ্বন্দ্বের ভ্রামক $\tau = F_3$ (অথবা F_4) \times AP [চিত্র 3.28]

$$= B \cdot i \cdot l (b \cos \theta)$$

$$= B \cdot i \cdot A \cos \theta$$

[$A = l \cdot b$ = লুপের তলের ক্ষেত্রফল]

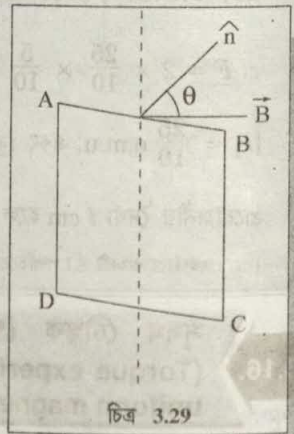
লুপে n সংখ্যক পাক (turn) থাকলে, $\tau = n B \cdot i \cdot A \cos \theta$ (i)

(i) যখন, $\theta = 0^\circ$ তখন $\tau = n B \cdot i \cdot A$ = টর্কের সর্বাধিক মান

(ii) যখন $\theta = 90^\circ$ তখন $\tau = 0$ = টর্কের সর্বনিম্ন মান।

অতএব, কুণ্ডলীর তল চৌম্বকক্ষেত্রের সমান্তরাল থাকলে ($\theta = 0^\circ$) কুণ্ডলী সর্বাধিক টর্ক অনুভব করে; আবার চৌম্বকক্ষেত্রের সমকোণে ($\theta = 90^\circ$) থাকলে, কোনো টর্ক অনুভব করে না।

[θ যদি লুপের তলের অভিলম্ব এবং চৌম্বক ক্ষেত্র B এর অন্তর্বর্তী কোণ হয় [চিত্র 3.26] তবে, $\tau = B \cdot i \cdot A \sin \theta$]

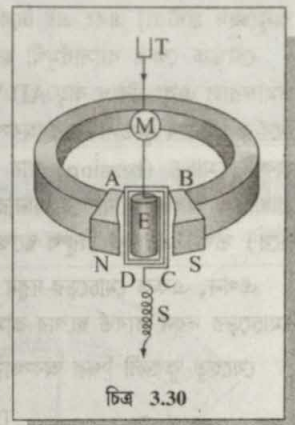


চিত্র 3.29

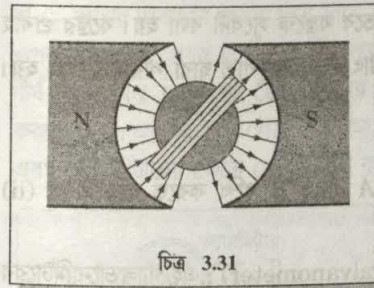
3.17. চলকুণ্ডলী বা ডি-আরসোনভ্যাল গ্যালভ্যানোমিটার (Moving coil or D'Arsonval Galvanometer):

এই গ্যালভ্যানোমিটারে কুণ্ডলীটি ঝুলানো বা প্রলম্বিত (suspended) থাকে এবং একটি স্থায়ী চুম্বকের চৌম্বকক্ষেত্রে অবাধে আবর্তন করতে পারে। এই কারণে একে চলকুণ্ডলী গ্যালভ্যানোমিটার (moving coil galvanometer)-ও বলা হয়। এই যন্ত্রের মূলনীতি হল তড়িৎপ্রবাহের ওপর চুম্বকের ক্রিয়া।

বিবরণ : ABCD তারের একটি চতুষ্কোণ কুণ্ডলী। কয়েক পাকের অন্তরিত সবু তামার তার একটি হালকা ধাতব ফ্রেমের (পিতল অথবা অ্যালুমিনিয়াম নির্মিত) ওপর জড়িয়ে এই কুণ্ডলী তৈরি করা হয়। পাতলা ফসফর-ব্রোঞ্জ রজ্জু দ্বারা কুণ্ডলীকে একটি স্থায়ী অশ্বক্ষুর চুম্বকের দুই মেবুর (N-S) মধ্যবর্তী স্থানে ঝুলিয়ে রাখা হয় (চিত্র নং 3.27) কুণ্ডলীর নিম্নপ্রান্ত একটি ছোটো স্প্রিং S-এর সাথে যুক্ত। এই স্প্রিংটিও ফসফর-ব্রোঞ্জের তৈরি। কুণ্ডলীর উপরিস্থিত ফসফর-ব্রোঞ্জ ঝুলন-রজ্জুর ওপর প্রাপ্ত একটি ব্যবর্ত শির T-এর সাথে সংযুক্ত। তড়িৎপ্রবাহ ফরফর-ব্রোঞ্জ ঝুলন-রজ্জু দিয়ে এসে ABCD-কুণ্ডলীর ভিতর দিয়ে স্প্রিং S-এ যায় এবং পুনরায় বহির্বর্তনীতে ফিরে যায়। নরম লোহার চোঙাকৃতি একটি টুকরো E কুণ্ডলীর মাঝখানে কাঠের বোর্ডে আবদ্ধ থাকে। কুণ্ডলী ঐ টুকরোকে স্পর্শ না করে টুকরো এবং চৌম্বক মেবুদ্বয়ের ফাঁকের মধ্যে অবধে ঘুরতে পারে। চোঙাকৃতি টুকরো রাখার ফলে চৌম্বকক্ষেত্র খুব তীব্র হয়। ফসফর-ব্রোঞ্জ ঝুলন-রজ্জুর সাথে ছোটো গোলাকার দর্পণ M আবদ্ধ থাকে। দর্পণের ওপর আলোকরশ্মি ফেলে এবং প্রতিফলিত আলোকরশ্মিকে একটি স্কেলের ওপর গ্রহণ করে (একে আলোক এবং স্কেল পদ্ধতি বলা হয়) কুণ্ডলীর



চিত্র 3.30

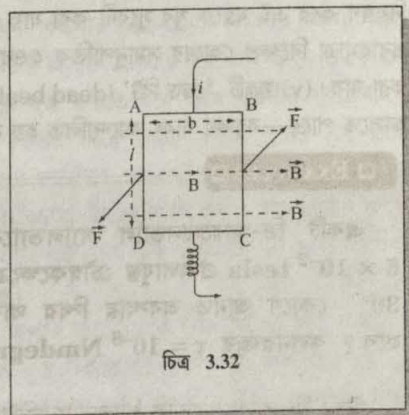


চিত্র 3.31

অশ্বক্ষুর চুম্বকের মেবুদ্বয় দুটি সমতল (plane) না করে চোঙাকৃতি করা হয় এবং E নরম লোহার চোঙের সাথে সমাঙ্গীকৃত করা হয়। এর সুবিধা এই যে, চৌম্বকক্ষেত্র ব্যাসার্ধমুখী (radial) হয়— অর্থাৎ, বলরেখাগুলি সর্বদা চতুষ্কোণ কুণ্ডলীর তলের সমান্তরাল হয় (চিত্র নং 3.28)।

কার্যনীতি : যখন কুণ্ডলী দিয়ে কোন তড়িৎপ্রবাহ থাকে

না, তখন কুণ্ডলী এরূপ অবস্থায় স্থির হয়ে দাঁড়ায় যে তার তল চৌম্বকক্ষেত্রের সমান্তরাল হয় এবং ঝুলন-রজ্জুতে কোন পাক (twist) থাকে না। কুণ্ডলী দিয়ে তড়িৎপ্রবাহ গেলে, কুণ্ডলী চৌম্বকক্ষেত্রের অভিলম্ব ভাবে নিজেকে স্থাপন করার চেষ্টা করে এবং বিক্ষিপ্ত হয়। ফলে, ঝুলন-রজ্জুতে পাক ধরে এবং কুণ্ডলীর ওপর বিপরীতমুখী একটি দ্বন্দ্ব ক্রিয়া করে। তড়িৎপ্রবাহের জন্য দ্বন্দ্ব এবং ঝুলন-রজ্জুতে পাকের জন্য বিপরীত দ্বন্দ্ব পরস্পরের সমান হলে, কুণ্ডলী বিক্ষিপ্ত অবস্থায় স্থির হয়ে দাঁড়ায়। স্কেলের ওপর দর্পণ কর্তৃক প্রতিফলিত আলোকরশ্মির সরণ লক্ষ করে ঐ বিক্ষেপ পরিমাপ করা হয়। এই বিক্ষেপ তড়িৎপ্রবাহের সমানুপাতিক হওয়ায়, এথেকে প্রবাহমাত্রা নির্ণয় করা যায়।



চিত্র 3.32

মূলতত্ত্ব (Theory): ধরো, ABCD চতুষ্কোণ কুণ্ডলীর উল্লম্ব দৈর্ঘ্য $= l$; প্রস্থ $= b$; $B =$ চৌম্বক ক্ষেত্রের প্রাবল্য, $n =$ কুণ্ডলীর পাক সংখ্যা (number of turns) এবং $i =$ অ্যাম্পিয়ার এককে কুণ্ডলীর প্রবাহমাত্রা।

ধরো, কুণ্ডলীটি θ কোণে বিক্ষিপ্ত হল। এই অবস্থায় কুণ্ডলী একটি টর্ক অনুভব করবে। [পূর্ব

অনুচ্ছেদ দ্রষ্টব্য] এবং এই টর্কের মান $\tau = n BiA \cos \theta$

চৌম্বক ক্ষেত্র ব্যাসার্ধমুখী হওয়ায় কুণ্ডলীর যে-কোনো অবস্থায় চৌম্বক ক্ষেত্র কুণ্ডলীর তলের সমান্তরাল এবং উল্লম্ব বাহু AD অথবা BC-র অভিলম্ব হবে। ফলে, $\theta = 0^\circ$ এবং $\tau = nBiA$ । এই টর্কের প্রভাবে কুণ্ডলী স্থির অবস্থা থেকে বিক্ষিপ্ত হবে। কিন্তু এতে বুলন রজ্জু (suspension fibre) একটি মোচড় (torsion) পায় এবং কুণ্ডলীর ওপর একটি বিরুদ্ধ দ্বন্দ্বের উৎপত্তি করে কুণ্ডলীকে প্রাথমিক অবস্থায় ফিরিয়ে আনার চেষ্টা করে। যখন কুণ্ডলী সাম্য-অবস্থানে আসে (θ কোণে বিক্ষিপ্ত হয়ে) তখন এই দুই বিরুদ্ধ দ্বন্দ্বের ভ্রামক সমান হয়।

এখন, একক মোচড়ের দরুন বুলন রজ্জুতে ব্যবর্ত দ্বন্দ্বের ভ্রামক (torsional rigidity) τ হলে θ মোচড়ের দরুন ব্যবর্ত দ্বন্দ্বের ভ্রামক $= \tau\theta$ ।

যেহেতু কুণ্ডলী স্থির অবস্থায় আছে, অতএব, $nBiA = \tau\theta$ ।

$$\therefore i = \frac{\tau}{nBA} \cdot \theta = K\theta \left[K = \frac{\tau}{nBA} = \text{ধ্রুবক} \right] \text{ অর্থাৎ, } i \propto \theta. \dots (i)$$

সুতরাং, এই গ্যালভানোমিটারে প্রবাহমাত্রা বিক্ষেপ কোণের সমানুপাতিক।

● যন্ত্রের প্রবাহ সুবেদীতা (Current sensitivity of the instrument) :

যদি প্রবাহমাত্রা i -এর খুব অল্প মানে θ -র মান বড় হয় তবে যন্ত্রকে সুবেদী বলা হয়। যন্ত্রের প্রবাহ সুবেদীতা প্রতি একক প্রবাহমাত্রায় কুণ্ডলীর বিক্ষেপ কোণ অর্থাৎ $\frac{d\theta}{di}$ অনুপাত দ্বারা পরিমাপ করা হয়।

$$(i) \text{ নং সমীকরণ থেকে পাই } \frac{d\theta}{di} = \frac{nBA}{\tau}।$$

এথেকে বোঝা যায় যন্ত্রকে সুবেদী করতে হলে (i) n , A এবং B বৃদ্ধি করতে হবে এবং (ii) τ -এর মান কম রাখতে হবে।

● গ্যালভানোমিটারের সুবিধা (Advantages of the galvanometer) : এই গ্যালভানোমিটারের নিম্নলিখিত সুবিধা আছে : (i) এই গ্যালভানোমিটারে কোনো চুম্বকশলাকা ব্যবহার করতে হয় না বলে ভূ-চৌম্বক ক্ষেত্রের কোনো প্রভাব তার ওপর নেই। তাই একে সুবিধামতো যে-কোনো স্থানে বসানো যেতে পারে। (ii) পাকসংখ্যা, কুণ্ডলীর মুখের ক্ষেত্রফল, বুলন-রজ্জুর ব্যবর্ত-দৃঢ়তা প্রভৃতি রাশিগুলি সুবিধামতো নিয়ন্ত্রণ করে এই যন্ত্রকে খুব সুবেদী করা যায় এবং ক্ষীণ প্রবাহমাত্রা পরিমাপের উপযুক্ত করা যায়। (iv) প্রবাহমাত্রা বিক্ষেপ কোণের সমানুপাতিক হওয়ায়, প্রবাহমাত্রা পরিমাপে সূক্ষ্ম অংশাঙ্কিত স্কেল ব্যবহার করা যায়। (v) যন্ত্রটি ‘ডেড বিট’ (dead beat)-অর্থাৎ, একবার বিক্ষিপ্ত হলে দ্রুত স্থির অবস্থানে ফিরে আসতে পারে—বহুক্ষণ যাবৎ আন্দোলিত হয় না।

□ EXAMPLES □

একটি ডি-আরসোনভ্যাল গ্যালভানোমিটারের কুণ্ডলীর ক্ষেত্রফল 100 cm^2 এবং $5 \times 10^{-2} \text{ tesla}$ প্রাবল্যযুক্ত চৌম্বকক্ষেত্রে বিলম্বিত। কুণ্ডলী চৌম্বকক্ষেত্রের অভিমুখের সঙ্গে 30° কোণে আনত অবস্থায় স্থির থাকতে হলে, কুণ্ডলী দিয়ে কত প্রবাহমাত্রা পাঠাতে হবে? বুলনরজ্জুর $\tau = 10^{-8} \text{ Nmdegree}^{-1}$ ।

$$\text{উঃ। ডি-আরসোনভ্যাল গ্যালভানোমিটারের কার্যনীতি হতে লেখা যায় } i = \frac{\tau \cdot \theta}{nBA} \text{ ampere}$$

[3.17 অনুচ্ছেদ দ্রষ্টব্য]

$$\text{বর্তমান ক্ষেত্রে, } A = 100 \text{ cm}^2 = 100 \times 10^{-4} \text{ m}^2; n = 1, B = 5 \times 10^{-2} \text{ T}; \theta = 30^\circ$$

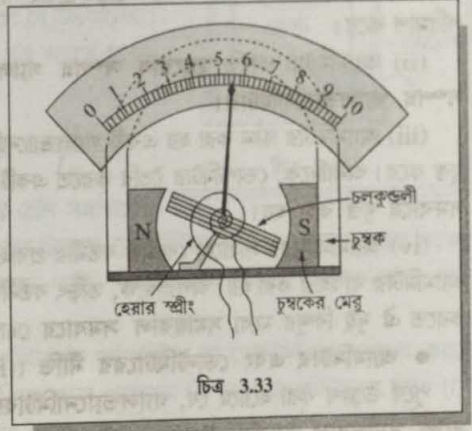
এবং $\tau = 10^{-8} \text{ N-mdegree}^{-1}$ [সমস্ত রাশিগুলিই S.I. এককে নেওয়া।]

$$\therefore i = \frac{10^{-8} \times 30}{1 \times (5 \times 10^{-2}) \times (100 \times 10^{-4})} \text{ A} = 6 \times 10^{-4} \text{ A} = 0.6 \text{ mA}.$$

3.18. অ্যামিটার এবং ভোল্টমিটার (Ammeter and Voltmeter):

যে যন্ত্র অ্যাম্পিয়ার এককে বর্তনীর তড়িৎপ্রবাহ পরিমাপ করে তাকে অ্যামিটার এবং ভোল্ট এককে বিভবপ্রভেদ পরিমাপ করে তাকে ভোল্টমিটার বলে। উভয় যন্ত্রই প্রবলস্থিত কুণ্ডলী গ্যালভানোমিটারের নীতি অনুযায়ী কাজ করে। এই যন্ত্রের আকৃতি 3.30 নং চিত্রে দেখানো হয়েছে।

সবু তামার তারের একটি কুণ্ডলীকে একটি স্থায়ী চুম্বকের মেবুদ্বয়ের মাঝে এমনভাবে আবদ্ধ রাখা হয় যে তার আবর্তন একটি হেয়ার স্প্রিং দ্বারা নিয়ন্ত্রিত হয়। কুণ্ডলী যত তার সাম্য অবস্থান অথ বা 0- দাগের অবস্থান থেকে ঘুরে যাবে তত তার ওপর নিয়ন্ত্রণ বল প্রযুক্ত হবে। কুণ্ডলীর সাথে একটি দীর্ঘ সূচক যুক্ত থাকে যা স্কেল বরাবর আবর্তন করতে পারে। অ্যামিটারের ক্ষেত্রে স্কেল অ্যাম্পিয়ারে এবং ভোল্টমিটারের ক্ষেত্রে ভোল্টে দাগ কাটা থাকে।

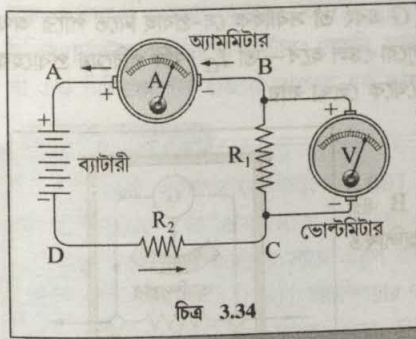


চিত্র 3.33

যত বেশি মাত্রার প্রবাহ যাবে, তার ওপর বিক্ষেপ দ্বন্দ্ব (deflecting couple) তত বেশি হবে এবং কুণ্ডলী তত বেশি ঘুরে যাবে যতক্ষণ পর্যন্ত না হেয়ার স্প্রিং প্রযুক্ত প্রত্যনয়নকারী দ্বন্দ্ব (restoring couple) তার সমান হয়ে সাম্য প্রতিষ্ঠা করে।

ব্যবহার প্রণালী :

যখন বর্তনীর তড়িৎপ্রবাহ মাপার জন্য যন্ত্রকে অ্যামিটার হিসাবে ব্যবহার করা হবে তখন তাকে শ্রেণি সমবায়ে যুক্ত করতে হবে যাতে বর্তনীর মূলপ্রবাহ ঐ যন্ত্রের ভিতর দিয়ে যেতে পারে। 3.31 নং চিত্রের



চিত্র 3.34

বর্তনীতে অ্যামিটার শ্রেণি সমবায়ে যুক্ত হয়েছে। এইভাবে বর্তনীতে অ্যামিটার যুক্ত করার ফলে যাতে বর্তনীর প্রবাহমাত্রার কোনোরূপ পরিবর্তন না ঘটে সেজন্য অ্যামিটারের সাথে সর্বদা নিম্নমানের রোধক সমান্তরাল সমবায়ে যুক্ত করে যন্ত্রের রোধ খুব কম করা হয়। এই রোধককে অ্যামিটারের সান্ট বলা হয়। বস্তুত আদর্শ অ্যামিটারের রোধ শূন্য হওয়া উচিত।

আবার, যখন বর্তনীর কোনো অংশের বিভবপ্রভেদ মাপার জন্য যন্ত্রকে ভোল্টমিটার হিসাবে ব্যবহার করার প্রয়োজন হয় তখন তাকে ঐ অংশের সমান্তরালে যুক্ত করতে হয়। যদি মনে করা যায় যে, R_1 রোধকের প্রান্তীয় বিভবপ্রভেদ পরিমাপ করতে হবে তাহলে যন্ত্রকে 3.31 নং চিত্রে এরূপ দেখানো হয়েছে যে R_1 রোধকের সাথে সমান্তরাল সমবায়ে যুক্ত করতে হবে। অনুরূপভাবে R_2 রোধকের প্রান্তীয় বিভবপ্রভেদ মাপার প্রয়োজন হলে C এবং D বিন্দুর ভিতর অথবা ব্যাটারির বিভবপ্রভেদ প্রয়োজন হলে

যন্ত্রকে A এবং D বিন্দুর ভিতর যুক্ত করতে হবে। বর্তনীতে ভোল্টমিটারের সংযোগের ফলে যাতে বর্তনীর তড়িৎপ্রবাহের কোনো পরিবর্তন না হয় সেজন্য যন্ত্রকে উচ্চ রোধযুক্ত করা হয়। যন্ত্রের কুণ্ডলীর নিজস্ব রোধ উচ্চমানের না হলে, যন্ত্রের সাথে শ্রেণি সমবায়ে একটি উচ্চ মানের অতিরিক্ত রোধক যুক্ত করে নেওয়া হয়। প্রকৃতপক্ষে আদর্শ ভোল্টমিটারের রোধ অসীম হওয়া উচিত কারণ তাহলে যন্ত্র মূলবর্তনী থেকে কোনো প্রবাহ নেবে না।

● অ্যামমিটার ও ভোল্টমিটারের মধ্যে পার্থক্য

(i) অ্যামমিটার অ্যাম্পিয়ার এককে তড়িৎ প্রবাহ পরিমাপ করে। ভোল্টমিটার ভোল্ট এককে বিভবপ্রভেদ পরিমাপ করে।

(ii) অ্যামমিটার কার্যত স্বল্পরোধ সম্পন্ন গ্যালভানোমিটার। ভোল্টমিটার প্রকৃতপক্ষে উচ্চরোধ সম্পন্ন গ্যালভানোমিটার।

(iii) অ্যামমিটার গঠন করা হয় একটি গ্যালভানোমিটারের সাথে স্বল্প মানের রোধ সমান্তরাল সমবায়ে যুক্ত করে। অন্যদিকে, ভোল্টমিটার তৈরি করতে একটি উচ্চ মানের রোধ গ্যালভানোমিটারের সাথে শ্রেণি সমবায়ে যুক্ত করা হয়।

(iv) অ্যামমিটারের সাহায্যে কোনও বর্তনীর প্রবাহমাত্রা পরিমাপ করতে বর্তনীর সাথে শ্রেণি সমবায়ে অ্যামমিটার ব্যবহার করা হয়। অপরপক্ষে, তড়িৎ বর্তনীর যে-কোনো দুটি বিন্দুর মধ্যে বিভবপ্রভেদ পরিমাপ করতে ঐ দুই বিন্দুর মধ্যে সমান্তরাল সমবায়ে ভোল্টমিটার ব্যবহার করা হয়।

● অ্যামমিটার এবং ভোল্টমিটারের নীতি ((Principles of ammeter and voltmeter):

পূর্বে উল্লেখ করা হয়েছে যে, গ্যালভানোমিটারকে অ্যামমিটাররূপে ব্যবহার করতে হলে তার সঙ্গে সমান্তরাল সমবায়ে উপযুক্ত সান্ট ব্যবহার করা প্রয়োজন। এই সান্টের মান নির্ধারিত হয় ঐ গ্যালভানোমিটার পুরো স্কেল বিক্ষেপের জন্য সর্বাধিক কত প্রবাহ নেয় এবং পরিমেয় প্রবাহের সর্বাধিক মান কত তার ওপর। ধরো, গ্যালভানোমিটারের রোধ = G এবং তা সর্বাধিক যে-প্রবাহ নিতে পারে অথ বা যে-সর্বাধিক প্রবাহে গ্যালভানোমিটার কাঁটার বিক্ষেপ পুরো স্কেল হবে—তা I_G ; যদি পরিমেয় প্রবাহের পাল্লা 0 A হতে IA হয় ($I > I_G$) তবে সান্টের নীতি থেকে লেখা যায়,

$$I_G = \frac{S}{S+G} \cdot I$$

এখানে S হল গ্যালভানোমিটার প্রান্তদ্বয় A এবং B এর সাথে যুক্ত প্রয়োজনীয় সান্ট [চিত্র 3.32]। সান্টের মান নিম্নলিখিত উপায়ে নির্ধারণ করা যায় :

$$\frac{S+G}{S} = \frac{I}{I_G} \text{ অথবা } 1 + \frac{G}{S} = \frac{I}{I_G}$$

$$\text{অর্থাৎ, } \frac{G}{S} = \frac{I - I_G}{I_G} \therefore S = \frac{I_G G}{I - I_G}$$

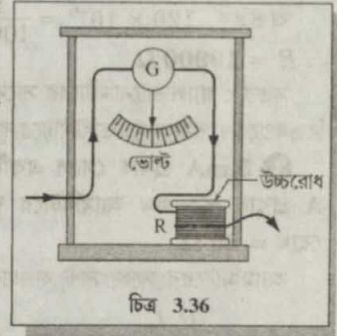


চিত্র 3.35

এই সান্ট A এবং B বিন্দুদ্বয় গ্যালভানোমিটারের সমান্তরালে যুক্ত করলে গ্যালভানোমিটার $0-I$ পাল্লার অ্যামমিটাররূপে কার্য করতে পারবে। সাধারণত S -এর মান খুব কম হয়; ফলে সান্টযুক্ত গ্যালভানোমিটারের কার্যকর রোধও কম হয়। এই কারণে বর্তনীর প্রবাহমাত্রা পরিমাপ করতে গিয়ে অ্যামমিটারকে বর্তনীর যে-কোনো স্থানে শ্রেণি সমবায়ে যুক্ত করলে, বর্তনীর রোধ তথা মূলপ্রবাহমাত্রার কোনো পরিবর্তন হয় না অথচ অ্যামমিটার ঐ প্রবাহমাত্রার পাঠ দেয়। যে গ্যালভানোমিটারের রোধ (G) খুব কম এবং পূর্ণস্কেল বিক্ষেপে প্রয়োজনীয় তড়িৎ প্রবাহ (I_G) কম, সেটাই অ্যামমিটার হিসাবে ব্যবহারের পক্ষে খুব উপযুক্ত।

আবার, গ্যালভানোমিটারকে ভোল্টমিটারে পরিণত করতে হলে, তার সাথে একটি উচ্চমানের রোধ শ্রেণি সমবায়ে যুক্ত করা প্রয়োজন। এই রোধ যত অধিক হয় তা মূলবর্তনী থেকে তত কম তড়িৎপ্রবাহ টানে এবং মূলবর্তনীর প্রবাহকে তত কম প্রভাবিত করে। তাছাড়া পূর্ণস্কেল বিক্ষেপের জন্য তড়িৎপ্রবাহও যথাসম্ভব কম হওয়া বাঞ্ছনীয়। ধরো, গ্যালভানোমিটার সর্বাধিক যে-প্রবাহ নিতে পারে তা I_G অর্থাৎ, গ্যালভানোমিটার দিয়ে ঐ প্রবাহ গেলে কাঁটার পুরো স্কেল বিক্ষেপ (full scale deflection) হবে। গ্যালভানোমিটারের রোধ = G ; একে সর্বাধিক বিভবপ্রভেদ V পরিমাপের উপযোগী ভোল্টমিটারে পরিণত করতে হলে যে উচ্চমানের রোধ R গ্যালভানোমিটারের সাথে শ্রেণি সমবায়ে যুক্ত করতে হবে তা নিম্নলিখিতরূপে নির্ণয় করা যায় [চিত্র 3.33]।

$$I_G = \frac{V}{R+G} \text{ অথবা } R+G = \frac{V}{I_G} \therefore R = \frac{V}{I_G} - G$$



চিত্র 3.36

গ্যালভানোমিটারের সাথে উক্ত মানের রোধ R শ্রেণি সমবায়ে যুক্ত করলে, তা $0-V$ পাল্লার বিভবপ্রভেদ পরিমাপের উপযুক্ত ভোল্টমিটারে পরিণত হবে। সূচকের বিক্ষেপ হতে আমরা সরাসরি ভোল্ট এককে বিভবপ্রভেদ পাই, কারণ স্কেল ভোল্ট এককে দাগ কাটা থাকে।

সুতরাং, দেখা যাচ্ছে যে-কোনো গ্যালভানোমিটারকে অ্যামমিটার বা ভোল্টমিটারে পরিণত করতে হলে, গ্যালভানোমিটার সম্পর্কে নিম্নলিখিত দুটি বিষয় জানা প্রয়োজন (i) গ্যালভানোমিটারের রোধ (G) এবং (ii) যে প্রবাহমাত্রায় (I_G) গ্যালভানোমিটার পুরো স্কেল বিক্ষেপ দেয়।

অনেক সময় খুব ক্ষীণ প্রবাহ বা বিভবপ্রভেদ পরিমাপের জন্য সুবেদী যন্ত্রের প্রয়োজন হয়। অ্যাম্পিয়ারের হাজার ভাগের একভাগ অথবা ভোল্টের হাজার ভাগের এক ভাগ মাপতে সক্ষম যে যন্ত্র তাকে বলা হয় মিলিঅ্যামিটার বা মিলিভোল্টমিটার। তেমনি, মাইক্রোঅ্যামিটার বা মাইক্রোভোল্টমিটার যন্ত্র এক মিলিঅ্যাম্পিয়ার বা এক মিলিভোল্টের হাজার ভাগের এক ভাগ পরিমাপ করতে পারে।

□ EXAMPLES □

1. একটি গ্যালভানোমিটারে 0.001 A প্রবাহ গেলে পুরো স্কেল বিক্ষেপ হয়। ঐ যন্ত্রকে কীভাবে 10 A পর্যন্ত প্রবাহমাত্রা পঠনক্ষম অ্যামমিটারে রূপান্তরিত করা যাবে? $G = 100 \Omega$.

উঃ। গ্যালভানোমিটারের সাথে এরূপ সান্ট সমান্তরাল সমবায়ে যোগ করতে হবে যাতে বর্তনীর 10 অ্যাম্পিয়ার প্রবাহমাত্রার 0.001 অ্যাম্পিয়ার গ্যালভানোমিটারে গিয়ে পুরো স্কেল বিক্ষেপ উৎপন্ন করবে এবং বাকি প্রবাহ সান্ট দিয়ে যাবে। ধরো, S হল নির্ণেয় সান্ট। এখন, গ্যালভানোমিটার প্রবাহ $I_G =$

$$\frac{S}{S+G} \cdot I \text{ অথবা, } 0.001 = \frac{S}{S+100} \times 10 \text{ অথবা } 1 + \frac{100}{S} = \frac{10}{0.001} = 10000$$

$$\text{অথবা, } S = \frac{100}{9999} = 0.01 \Omega \text{ (প্রায়)।}$$

কাজেই, 0.01Ω সান্ট গ্যালভানোমিটারের সাথে যোগ করলে তা 10 A পর্যন্ত প্রবাহমাত্রা পঠনক্ষম অ্যামমিটারে রূপান্তরিত হবে।

2. 120 মাইক্রোঅ্যাম্পিয়ার পর্যন্ত পঠনক্ষম এবং 100Ω রোধের একটি গ্যালভানোমিটারকে কীভাবে 2.4 ভোল্ট পঠনক্ষম ভোল্টমিটারে রূপান্তরিত করা যাবে?

উঃ। ভোল্টমিটারে রূপান্তরিত করতে হলে গ্যালভানোমিটারের সাথে এরূপ উচ্চরোধ শ্রেণি

সমবায়ে যুক্ত করতে হবে যাতে ঐ সম্মিলিত রোধের প্রাপ্তে 2.4 volt বিভবপ্রভেদ প্রয়োগ করলে গ্যালভানোমিটার দিয়ে $120\mu\text{A}$ (অর্থাৎ, $120 \times 10^{-6} \text{ A}$) প্রবাহ যায় এবং পুরো স্কেল বিক্ষেপ উপলব্ধি করে। ধরো, R নির্ণেয় রোধ।

$$\text{অতএব } 120 \times 10^{-6} = \frac{2.4}{100 + R} \text{ অথবা, } 100 + R = \frac{2.4}{120 \times 10^{-6}} = 20000;$$

$$\therefore R = 19900 \Omega.$$

সুতরাং গ্যালভানোমিটারের সাথে শ্রেণি সমবায়ে 19900Ω রোধ যুক্ত করলে তা 2.4 volt পর্যন্ত বিভবপ্রভেদ পঠনক্ষম ভোল্টমিটারে রূপান্তরিত হবে।

৩. 5 mA প্রবাহ গেলে একটি মিলিঅ্যামিটারে পুরো স্কেল বিক্ষেপ হয়। এই যন্ত্রকে 5 A প্রবাহ পঠনক্ষম অ্যামিটারে রূপান্তরিত করতে কি পরিবর্তন প্রয়োজন? যন্ত্রের কুণ্ডলীর রোধ = 20Ω .

অ্যামিটারের সঙ্গে সান্ট ব্যবহার করতে হবে। R_s যদি প্রয়োজনীয় সান্ট হয় তবে

$$I_G = \frac{R_s I}{R_s + G} \text{ অথবা, } 5 \times 10^{-3} = \frac{R_s}{R_s + G} \times 5$$

$$\text{এক্ষেত্রে } R_s = \frac{20}{10^3} = 0.02 \Omega. \text{ (প্রায়)}$$

সুতরাং, মিলিঅ্যামিটারকে 5A প্রবাহ পঠনক্ষম অ্যামিটারে রূপান্তরিত করতে হলে যন্ত্রের সাথে 0.02Ω রোধের সান্ট যুক্ত করতে হবে।

৪. একটি 110 volt ব্যাটারির অভ্যন্তরীণ রোধ 4Ω । 250Ω রোধের একটি ভোল্টমিটারকে ব্যাটারির তড়িচ্চালক বল মাপার জন্য ব্যবহার করা হল। পরিমাপে এক শতাংশের বেশি ত্রুটি হবে না এরূপ করতে গেলে ভোল্টমিটার রোধের ন্যূনতম পরিবর্তন কি করা উচিত?

উঃ। ধরো, ভোল্টমিটারের ন্যূনতম রোধ R হলে ব্যাটারির তড়িচ্চালক বলের পরিমাপে 1% ত্রুটি হল। এই অবস্থায় ভোল্টমিটার দিয়ে তড়িৎ-প্রবাহ $i = \frac{100}{R + 4} \text{ A}$.

ভোল্টমিটার কর্তৃক বিভব-পতনের পাঠ = তড়িৎপ্রবাহ \times ভোল্টমিটারের রোধ = $\frac{100}{R + 4} \times R$.
1% ত্রুটির কথা ধরলে ভোল্টমিটারে পাঠ পাওয়া উচিত 99 volt.

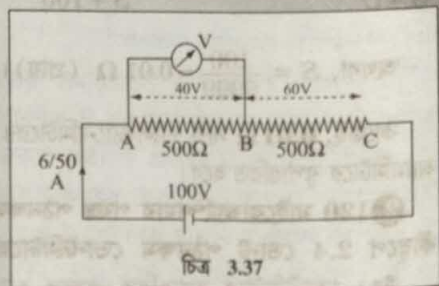
$$\therefore 99 = \frac{100}{R + 4} \times R. \text{ অথবা } R = 396 \Omega.$$

সুতরাং, ভোল্টমিটারের রোধ $(396 - 250) = 146 \Omega$ বৃদ্ধি করতে হবে।

৫. 100 V সরবরাহ লাইনে 1000Ω -এর একটি রোধ আছে। ঐ রোধের একপ্রান্ত ও রোধের মধ্যবিন্দুর ভিতর একটি ভোল্টমিটার সংযুক্ত করলে 40V পাঠ পাওয়া যায়। ভোল্টমিটারের রোধ নির্ণয় করো।

উঃ। 3.37 নং চিত্রে বর্তনী ব্যবস্থা দেখানো হল। AC রোধের এক প্রান্ত A এবং মধ্যবিন্দু B-এর ভিতর ভোল্টমিটার (V) যুক্ত। অতএব, AB রোধ = BC রোধ = 500Ω .

যেহেতু ভোল্টমিটার AB অংশের বিভবপ্রভেদ 40 volt পাঠ দেয়, সেহেতু BC অংশের বিভবপ্রভেদ = $(100 - 40) = 60 \text{ V}$ ।



অতএব, বর্তনীর মূলপ্রবাহমাত্রা $i = \frac{V_B - V_C}{500} = \frac{60}{500} = \frac{6}{50}$ A.

এখন, মূলপ্রবাহের i_1 অংশ যদি ভোল্টমিটার দিয়ে প্রবাহিত হয়, তবে

$$i_1 = \frac{AB \text{ অংশের রোধ (500}\Omega)}{500 + G} \times i = \frac{500}{500 + G} \times \frac{6}{50} = \frac{60}{500 + G} \text{ A}$$

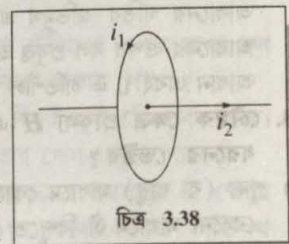
[G = ভোল্টমিটারের রোধ]

সুতরাং, ভোল্টমিটারের প্রান্তীয় বিভব পতন $= i_1 \times G = \frac{60 \times G}{500 + G}$

প্রশ্নানুযায়ী, $\frac{60 \times G}{500 + G} = 40$ অথবা $G = 1000 \Omega$.

এই পরিচ্ছেদের বিষয়বস্তু সম্পর্কে কয়েকটি প্রশ্ন (Some typical problems of this chapter)

- একটি তারে তড়িৎ-প্রবাহ আছে কিনা পরীক্ষা করার জন্য তারকে একটি চুম্বক-শলাকার কাছে আনা হল; কিন্তু শলাকার কোনো বিক্ষেপ দেখা গেল না অথচ, তারকে জলপূর্ণ ক্যালোরিমিটারে ডোবালে, জলের তাপমাত্রা বৃদ্ধি হল। এটা কীরূপে ব্যাখ্যা করবে?
- তড়িৎপ্রবাহযুক্ত তারকে যদি পূর্ব-পশ্চিম দিকে রাখা যায়, তবে উত্তর-দক্ষিণমুখী চুম্বক-শলাকার ওপর তা কোনো প্রভাব বিস্তার করবে না; ফলে শলাকার কোনো বিক্ষেপ দেখা যাবে না। কিন্তু ঐ তারকে জলে ডোবালে, জল প্রভাবের দরুন যে তাপ উৎপন্ন হবে তাতে জলের তাপমাত্রা বৃদ্ধি পাবে। আরও একভাবে উপরোক্ত ঘটনাকে ব্যাখ্যা করা যায়। যদি তার দিয়ে উচ্চ কম্পাঙ্কের পরিবর্তী প্রবাহ যায় (H.F. alternating current) তবে তা শলাকার কোনো বিক্ষেপ সৃষ্টি করতে পারবে না। কিন্তু জল প্রভাব সৃষ্টি হবে কারণ জল প্রভাব প্রবাহমাত্রার বর্গের ওপর নির্ভর করে, প্রবাহের অভিমুখের ওপর নির্ভর করে না। তাই পরিবর্তী প্রবাহযুক্ত তারকে জলে ডোবালে উৎপন্ন তাপ জলের তাপমাত্রা বৃদ্ধি করবে।
- দুইটি সমান্তরাল ঋজু তারে সমমুখী প্রবাহ যাচ্ছে। তার দুটির অভ্যন্তরস্থ দূরত্বের মধ্যবিন্দুতে এবং তার দুটি থেকে দূরের কোনো বিন্দুতে চৌম্বক বলরেখা কীরূপ হবে?
- প্রত্যেকটি তারের জন্য বলরেখা হবে বৃত্তাকার এবং সমকেন্দ্রিক। তারের সাথে কার্ডবোর্ডের ছেদবিন্দু হবে ঐ বৃত্তাকার বলরেখাগুলির কেন্দ্র। এখন, তার দিয়ে প্রবাহ যদি ওপর থেকে নীচুতে যায় তবে উভয় বল রেখাগুলির অভিমুখ হবে দক্ষিণাবর্তী। ফলে দুই তারের মাঝখানে দুই প্রবাহের দরুন চৌম্বক ক্ষেত্রের প্রাবল্য হবে বিপরীতমুখী। যে বিন্দুতে দুই প্রাবল্য সমান হবে সেখানে উদাসীন বিন্দুর সৃষ্টি হবে এবং সেখানে কোনো বলরেখা থাকবে না। তার দুটি হতে সামান্য দূরে বলরেখা দুটি তারকেই বেষ্টিত করে প্রায় বৃত্তাকার হবে কিন্তু তার দুটি থেকে বেশ দূরের বলরেখাগুলি সম্পূর্ণ বৃত্তাকার হবে এবং একটি তার দিয়ে $(i_1 + i_2)$ প্রবাহ গেলে যেরূপ বলরেখা হত, সেরকম হবে।
- একটি তার দিয়ে i_2 তড়িৎ-প্রবাহ যাচ্ছে। তারটি অপর একটি বৃত্তাকার তার কুণ্ডলীর কেন্দ্র দিয়ে এবং কুণ্ডলীর তলের অভিলম্বভাবে চলে গেছে [চিত্র 3.38]। কুণ্ডলী দিয়ে i_1 প্রবাহ যাচ্ছে। এরূপ অবস্থায় তড়িৎ প্রবাহ দুটি পরস্পরের ওপর কীরকম বল প্রয়োগ করবে?
- কুণ্ডলীর তড়িৎ-প্রবাহ i_1 যে চৌম্বক ক্ষেত্র উৎপন্ন করে তার অভিমুখ i_2 প্রবাহের অভিমুখের সমান্তরাল। আমরা জানি, তড়িৎ প্রবাহযুক্ত ঋজু তার চৌম্বকক্ষেত্রের অভিমুখের সমান্তরালভাবে স্থাপিত হলে তা কোনো বল অনুভব করে না। অতএব, এক্ষেত্রে



চিত্র 3.38

i_2 প্রবাহের ওপর i_1 প্রবাহ কোনো বল প্রয়োগ করবে না। আবার স্বজু তারে i_2 প্রবাহ যে চৌম্বকক্ষেত্র সৃষ্টি করবে, তা কুণ্ডলীর তলের সমান্তরাল হবে। এক্ষেত্রেও i_1 প্রবাহ i_2 প্রবাহের ওপর কোনো বল প্রয়োগ করবে না। সুতরাং তড়িৎপ্রবাহ দুটির ভিতর পারস্পরিক বল হবে শূন্য।

4. একটি তড়িতাহিত বস্তু কণাকে সুতোর এক প্রান্তে আটকে মসৃণ টেবিলের ওপর অনুভূমিক তলে ঘোরানো হচ্ছে। সুতোর অপর প্রান্ত একটি বিন্দুতে দৃঢ়ভাবে আবদ্ধ। এই অবস্থায় ঋড়া উল্লম্ব দিকে একটি চৌম্বকক্ষেত্র কার্য করলে, সুতোর টান কীরূপ হবে?

● যে-কোনো মুহূর্তে কণার গতির অভিমুখ ঐ বিন্দুতে বৃত্তের স্পর্শক বরাবর অনুভূমিক দিকে। চৌম্বক ক্ষেত্র ঋড়া উল্লম্ব দিকে ক্রিয়া করায়, চৌম্বকক্ষেত্রের অভিমুখ এবং কণার গতির অভিমুখ পরস্পরের অভিলম্ব। ফলে চৌম্বকক্ষেত্রের দরুন কণার ওপর প্রযুক্ত বল উভয়ের অভিলম্ব অর্থাৎ অনুভূমিক দিকে বৃত্তের কেন্দ্রে বরাবর অথবা কেন্দ্রে বহির্মুখী হবে। অতএব চৌম্বক ক্ষেত্রের দিক অনুযায়ী (উপর হতে নীচে কিংবা নীচু হতে উপরে) সুতোর টান বৃদ্ধি পেতে পারে অথবা হ্রাস পেতে পারে।

5. চৌম্বকক্ষেত্রে তড়িৎগন্ত কণার ব্যবহার এবং স্থির তড়িৎক্ষেত্রে তড়িৎগন্ত কণার ব্যবহারের পার্থক্য কী?

<p>● 1. চৌম্বকক্ষেত্র কেবলমাত্র গতিশীল তড়িৎ-গন্ত কণার উপর বলপ্রয়োগ করে; তড়িৎগন্ত স্থির কণার উপর কোনো বলপ্রয়োগ করে না।</p> <p>2. চৌম্বকক্ষেত্রের অভিমুখের সমান্তরালে গতিশীল তড়িৎগন্ত কণার উপর চৌম্বকক্ষেত্র কোনো বলপ্রয়োগ করে না।</p> <p>3. গতিশীল তড়িৎগন্ত কণার উপর চৌম্বক ক্ষেত্র কর্তৃক প্রযুক্ত বল \vec{v} এবং \vec{B} নির্দেশিত তলের অভিলম্বভাবে ক্রিয়া করে।</p> <p>4. চৌম্বক ক্ষেত্র কর্তৃক প্রযুক্ত বল $F = B.e.v \sin \theta$ [$\theta = \vec{B}$ এবং \vec{v}-এর অন্তর্গত কোণ]</p>	<p>1. স্থির তড়িৎক্ষেত্র গতিশীল এবং স্থির তড়িৎ গন্ত কণা—উভয়ের উপরই বলপ্রয়োগ করে।</p> <p>2. গতিশীল তড়িৎগন্ত কণার গতির অভিমুখ যাই হোক না কেন তড়িৎক্ষেত্র সর্বদা কণার উপর বলপ্রয়োগ করে।</p> <p>3. তড়িৎক্ষেত্র কর্তৃক প্রযুক্ত বল ক্ষেত্র নির্দেশিত তলে ক্রিয়া করে।</p> <p>4. তড়িৎক্ষেত্র কর্তৃক প্রযুক্ত বল $F = E.q$ [E = ক্ষেত্রপ্রাবল্য; q = কণার তড়িতাধান]</p>
--	--

7. সুযম চৌম্বকক্ষেত্রে একটি তড়িতাধান রাখা আছে। আধানের ওপর চৌম্বকক্ষেত্র কি কোনো বলপ্রয়োগ করবে যখন (i) আধান স্থির অবস্থায় আছে (ii) চৌম্বকক্ষেত্রের সমান্তরালে আধান গতিশীল আছে এবং (iii) চৌম্বকক্ষেত্রের অভিমুখের সমকোণে আধান গতিশীল আছে।

● (i) সুযম চৌম্বকক্ষেত্রে আধান স্থির অবস্থায় থাকলে, চৌম্বকক্ষেত্র কোনো বলপ্রয়োগ করে না। (ii) গতিশীল আধান তড়িৎপ্রবাহের সমতুল্য; ফলে তা চৌম্বকক্ষেত্রেরও সৃষ্টি করে। কিন্তু এক্ষেত্রে যেহেতু প্রবাহের অভিমুখ চৌম্বকক্ষেত্রের সমান্তরাল, তাই আধানের ওপর কোনো বল প্রযুক্ত হবে না। (iii) আধানের গতির অভিমুখ এবং চৌম্বকক্ষেত্রের অভিমুখ পরস্পরের সমকোণে থাকলে, গতিশীল আধানের ওপর বল প্রযুক্ত হবে। এই বলের মান $= B.q.v$. যেখানে B = চৌম্বক আবেশ, q = আধান এবং v = গতিশীল আধানের গতিবেগ।

8. চৌম্বক ক্ষেত্র প্রাবল্য H এবং চৌম্বক আবেশ B -এর মধ্যে সম্পর্ক কি? এরা কি একই ধরনের ভেক্টর?

● শূন্য (বা বায়ু) মাধ্যমে কোনো বিন্দুতে চৌম্বকক্ষেত্র প্রাবল্য H হলে এবং বায়ুর পরিবর্তে অন্য কোনো মাধ্যমে ঐ বিন্দুতে চৌম্বক আবেশ B হলে $B = \mu H$ হবে, যেখানে μ = ঐ মাধ্যমের

ভেদ্যতা। S.I. পদ্ধতিতে H -এর একক অ্যাম্পিয়ার/মিটার এবং B -এর একক ওয়েবার / মিটার² অথবা টেসলা। সমসত্ত্ব চৌম্বক পদার্থের মধ্যে H এবং B উভয়েই একই ধরনের ভেক্টর।

9. Y -অক্ষ বরাবর কাজ করছে এরূপ একটি চৌম্বকক্ষেত্রে X -অক্ষ বরাবর গতিশীল একটি ইলেকট্রন প্রবেশ করল। ইলেকট্রনের ওপর প্রযুক্ত বল কোন অভিমুখে ক্রিয়া করবে?

● এক্ষেত্রে তড়িতাধান চৌম্বকক্ষেত্রের অভিমুখের সঙ্গে অভিলম্বভাবে গতিশীল। ফলে ইলেকট্রনের গতির অভিমুখ এবং চৌম্বকক্ষেত্রের অভিমুখ—উভয়ের সাথে সমকোণে চৌম্বক বল ক্রিয়া করবে— অর্থাৎ ইলেকট্রনের ওপর প্রযুক্ত বল Z -অক্ষ বরাবর ক্রিয়া করবে।

10. একটি তড়িৎপ্রস্তুত কণা একটি সুযম চৌম্বকক্ষেত্রে প্রবেশ করল। নিম্নলিখিত ক্ষেত্রে তার গতিপথ কি হবে :—(i) প্রাথমিক গতিপথ চৌম্বকক্ষেত্রের সমান্তরাল (ii) প্রাথমিক গতিপথ চৌম্বকক্ষেত্রের অভিলম্ব (iii) প্রাথমিক গতিপথ চৌম্বকক্ষেত্রের সঙ্গে যে-কোনো কোণে আনত।

● (i) তড়িৎপ্রস্তুত কণার প্রাথমিক গতিপথ চৌম্বকক্ষেত্রের সমান্তরাল হলে চৌম্বকক্ষেত্র কণার ওপর কোনো বলপ্রয়োগ করে না। ফলে কণা সরলরেখা বরাবর প্রাথমিক গতিবেগের অভিমুখে চলে যাবে।

(ii) তড়িৎপ্রস্তুত কণার প্রাথমিক গতিপথ চৌম্বকক্ষেত্রের অভিলম্ব হলে, চৌম্বকক্ষেত্র কণার ওপর অরীয় (radial) বল প্রয়োগ করবে। ফলে কণা চৌম্বকক্ষেত্রের অভিলম্ব তলে বৃত্তপথে ঘুরে যাবে।

(iii) তড়িৎপ্রস্তুত কণার প্রাথমিক গতিপথ চৌম্বকক্ষেত্রের সঙ্গে আনত হলে, গতিপথের যে উপাংশ চৌম্বকক্ষেত্রের সমান্তরাল তার দরুন সরলরেখা বরাবর অগ্রসর হবে এবং যে উপাংশ চৌম্বকক্ষেত্রের অভিলম্ব তার দরুন বৃত্তপথে ঘুরবে। এই দুয়ের সম্মিলিত প্রভাবে তড়িৎপ্রস্তুত কণা প্যাঁচানো স্প্রিংয়ের (helix) মতো গতিপথ পাবে এবং ঐ স্প্রিংয়ের অক্ষ চৌম্বকক্ষেত্রের সমান্তরাল হবে।

11. একটি তড়িৎপ্রস্তুত কণা একটি চৌম্বকক্ষেত্রের অভিমুখের সঙ্গে লম্বভাবে চৌম্বকক্ষেত্রে প্রবেশ করল। এর ফলে নিম্নলিখিত বিষয়গুলি মধ্যে কোন্টির পরিবর্তন হবে :—(i) কণার তড়িতাধানের পরিমাণ (ii) কণার দ্রুতি (iii) কণার শক্তি (iv) কণার গতিপথ?

● প্রথম তিনটি বিষয়ের কোনো পরিবর্তন হবে না। কণার গতিপথ সরলরেখার পরিবর্তে বৃত্তাকার হবে।

12. একটি বৃত্তাকার তার কুণ্ডলী দিয়ে এরূপ প্রবাহমাত্রা পাঠানো হল যে কুণ্ডলীর কেন্দ্রে উৎপন্ন চৌম্বক ক্ষেত্র ভূ-চৌম্বক ক্ষেত্রের অনুভূমিক উপাংশকে নাকচ করে দিল। এই উদ্দেশ্যে তার কুণ্ডলীকে কীভাবে স্থাপন করতে হবে?

● কুণ্ডলীর তল (plane) এমনভাবে স্থাপন করতে হবে যেন তার কেন্দ্রে তড়িৎপ্রবাহজনিত চৌম্বক ক্ষেত্রের অভিমুখ ভূ-চৌম্বক ক্ষেত্রের অনুভূমিক উপাংশের ঠিক বিপরীত হয়। সুতরাং কুণ্ডলীর তলকে উল্লম্ব হতে হবে এবং চৌম্বক মধ্যতলের সঙ্গে লম্বভাবে থাকতে হবে। তাছাড়া প্রবাহের অভিমুখ এমন হবে যে উত্তর দিক থেকে দেখলে প্রবাহ দক্ষিণাবর্তী দেখাবে।

13. একটি চোঙাকৃতি পরিবাহীর ভিতর দিয়ে স্থির মানের তড়িৎপ্রবাহ যাচ্ছে। পরিবাহীর ভিতরে কোনো তড়িৎক্ষেত্রের অস্তিত্ব আছে কি?

● হ্যাঁ, পরিবাহীর দিয়ে স্থির মানের প্রবাহ বজায় রাখতে গেলে পরিবাহীর অভ্যন্তরে তড়িৎক্ষেত্রের অবস্থিতি প্রয়োজন।

14. একটি সরু ও নমনীয় (flexible) তারকে আয়তাকার দিয়ে মসৃণ টেবিলের ওপর রাখা হল এবং তার দিয়ে প্রবল তড়িৎপ্রবাহ পাঠানো হল। তার কীরকম আকার পাবে?

● আয়তাকার তারের প্রত্যেক দুই সমান্তরাল বাহুতে সমান, সমান্তরাল এবং বিপরীতমুখী তড়িৎপ্রবাহ যাবে। ফলে, প্রত্যেক দুই সমান্তরাল বাহু পরস্পরকে বিকর্ষণ করবে। এতে তার গোল আকার পাবে।

15. একটি প্রোটন ও একটি ইলেকট্রন অভিন্ন বেগ নিয়ে একটি চুম্বকক্ষেত্রের লম্বভাবে ঐ ক্ষেত্রে প্রবেশ করে। কোন্টির ওপর অধিক বল ক্রিয়া করবে? কোন্টি নিজ গতিপথ থেকে অধিকতর বিচ্যুত হবে?

- B চৌম্বকক্ষেত্রে e তড়িতাধান v গতিবেগ নিয়ে লম্বভাবে প্রবেশ করলে তড়িতাধানের ওপর ক্রিয়াত বল $= B.e.v$.

যেহেতু ইলেকট্রন ও প্রোটনের তড়িতাধান সমান এবং প্রশ্নানুযায়ী গতিবেগও সমান, তাই উভয় ক্ষেত্রেই বল সমান হবে। আবার, যেহেতু প্রোটন অপেক্ষা ইলেকট্রন খুব হালকা, তাই একই বলের অধীনে ইলেকট্রনের বিচ্যুতি বেশি হবে।

16. দুটি সমান্তরাল তারে একই অভিমুখে তড়িৎপ্রবাহ গেলে তার দুটি পরস্পরকে আকর্ষণ করে। কিন্তু দুটি ইলেকট্রন বীম একই দিকে গতিশীল হলে তারা পরস্পরকে বিকর্ষণ করে। এই পার্থক্যের কারণ কী?

- তারে তড়িৎপ্রবাহ গেলে একটি চৌম্বকক্ষেত্রের সৃষ্টি হয়। ঐ চৌম্বকক্ষেত্রে অপর একটি তড়িৎবাহী তার আনলে, তড়িৎপ্রবাহের দিক অনুযায়ী তার দুটি পরস্পরকে আকর্ষণ বা বিকর্ষণ করে। প্রমাণ করা যায় যে দুই তারে তড়িৎপ্রবাহের অভিমুখ এক হলে তার দুটি আকর্ষণ বল অনুভব করবে। কিন্তু দুটি ইলেকট্রন বীম একই দিকে পাশাপাশি গেলে সমতড়িতের ভিতর বিকর্ষণের ফলে ইলেকট্রনগুলি পরস্পরকে বিকর্ষণ করবে।

17. একটি অঞ্চলের বিভিন্ন বিন্দুতে চৌম্বকক্ষেত্রে মান বিভিন্ন কিন্তু অভিমুখ এক (পূর্ব থেকে পশ্চিমে)। একটি প্রোকঠের ভিতর এরূপ একটি চৌম্বকক্ষেত্র কাজ করছে। একটি তড়িতাহিত কণা ঐ প্রোকঠে ঢুকে বিচ্যুত না হয়ে স্থির বেগে (constant speed) সোজা চলে গেল। কণার প্রাথমিক বেগ কীরূপ হলে ঐ ঘটনা সম্ভব?

- আমরা জানি যে চৌম্বকক্ষেত্রের সমান্তরালে যদি কোনো আহিত কণা চৌম্বক ক্ষেত্রে প্রবেশ করে তবে তার ওপর চৌম্বকক্ষেত্র কোনো বল প্রয়োগ করে না। প্রশ্নানুযায়ী যদি তড়িতাহিত কণা বিচ্যুত না হয়ে সোজা পথে চলে যায়, তাহলে বুঝতে হবে যে কণার ওপর কোনো বল প্রযুক্ত হয়নি। এটা সম্ভব যদি আহিত কণার প্রাথমিক বেগের অভিমুখ চৌম্বক ক্ষেত্রের সমান্তরাল হয়।

18. একটি সুযম চৌম্বকক্ষেত্রের ভিতর ক্ষেত্রের অভিমুখের সঙ্গে θ ($0^\circ < \theta < 90^\circ$) কোণ করে এবং v গতিবেগ দিয়ে একটি আহিত কণাকে নিক্ষেপ করা হল। কণাটির গতিপথ কি রকম হবে?

- কণার গতিবেগ v -কে যদি চৌম্বকক্ষেত্রের অভিমুখের দিকে এবং তার উল্লম্ব দিকে বিভাজন করা হয় তবে আমরা যথাক্রমে $v \cos \theta$ এবং $v \sin \theta$ দুটি উপাংশ পাব। $v \cos \theta$ উপাংশের জন্য কণা কোনো বল অনুভব করবে না। ফলে কণা ঐ উপাংশকে স্থির রেখে চৌম্বকক্ষেত্রের অভিমুখে চলতে থাকবে। কিন্তু অভিলম্ব উপাংশ $v \sin \theta$ -এর জন্য কণা বৃত্তপথে ঘুরতে চেষ্টা করবে। ফলে, দুই উপাংশের অধীনে থেকে কণা সপ্রিল পথে (helical path) অগ্রসর হবে।



প্রশ্নাবলি



→ রচনাধর্মী প্রশ্ন

1. চুম্বকের ওপর তড়িৎপ্রবাহের ক্রিয়া কীরূপে প্রদর্শন করবে? চুম্বক বিক্ষেপের অভিমুখ নির্ণয় সংক্রান্ত নিয়মটি ব্যাখ্যা করো।
2. তড়িৎবাহী ঋজু পরিবাহী যে চৌম্বক ক্ষেত্র সৃষ্টি করে তা কীরূপে প্রদর্শন করবে? ঐ চৌম্বক ক্ষেত্রের বলরেখা আঁকো এবং তড়িৎপ্রবাহ ও বলরেখার অভিমুখ নির্দেশ করো।
3. তড়িৎবাহী বৃত্তাকার পরিবাহী যে চৌম্বক ক্ষেত্র সৃষ্টি করে পরিবাহীর কেন্দ্রে ঐ চৌম্বক ক্ষেত্রের মান কত?
4. কোনো পরিবাহী দিয়ে প্রবাহিত তড়িৎপ্রবাহের ফলে পরিবাহীর চতুর্দিকে সৃষ্ট চৌম্বক ক্ষেত্রের যে-কোনো বিন্দুতে প্রাবল্য সম্পর্কিত বায়ো-সভার্ট সূত্র বিবৃত করো।
5. তড়িৎবাহী পরিবাহীকে চৌম্বক ক্ষেত্রে রাখলে পরিবাহী যে বিক্ষিপ্ত হয় তা প্রদর্শনের একটি পরীক্ষা বর্ণনা করো। পরিবাহীর বিক্ষেপের দিক নির্দেশ করবার প্রয়োজনীয় নিয়মটি কী?
6. (a) অ্যাম্পিয়ারের পরিক্রমণ উপপাদ্য বিবৃত করো এবং ব্যাখ্যা করো। এই উপপাদ্য প্রয়োগ করে একটি তড়িৎবাহী

টরয়েডের দরুন চৌম্বক ক্ষেত্রের প্রাবল্য নির্ণয় করো।

(b) অ্যাম্পিয়ারের পরিক্রম উপপাদ্যের সাহায্যে একটি লম্বা সলিনয়েডের ভিতরে এবং বাইরে চৌম্বকক্ষেত্রের প্রাবল্য নির্ণয় কর।

- চৌম্বকক্ষেত্রে স্থাপিত তড়িৎবাহী লুপের ওপর কার্যকর টর্ক নির্ণয় করো।
- একটি চলকুণ্ডলী গ্যালভানোমিটারের গঠন ও কার্যপ্রণালী লেখো। ঐ গ্যালভানোমিটারের সুবিধা কি?
- একটি অ্যামমিটার এবং একটি ভোল্টমিটার বর্ণনা করো এবং পার্থক্য নির্দেশ করো।
- একটি তড়িৎবাহী ঋজু তার একটি চৌম্বক ক্ষেত্রের সাথে লম্বভাবে স্থাপিত আছে। তারটির ওপর কত বল প্রযুক্ত হচ্ছে? এই বলের অভিমুখ কী? তারটি চৌম্বক ক্ষেত্রের সমান্তরাল থাকলে কত বল ক্রিয়া করত?
- সু্যম চৌম্বক ক্ষেত্রে একটি তড়িৎবাহী তারের কুণ্ডলী রাখলে তার উপর ক্রিয়াশীল টর্কের মান কি হবে নির্ণয় কর।
- চিত্রের সাহায্যে একটি চলকুণ্ডলী অ্যামমিটারের কার্যপ্রণালী বিবৃত করো। কীরূপে একে একটি ভোল্টমিটারে রূপান্তরিত করা যায়?
- চলকুণ্ডলী গ্যালভানোমিটারকে কীভাবে অ্যামমিটারে পরিণত করা যায়?
- তোমাকে একটি গ্যালভানোমিটার দেওয়া হল। কীরূপে তুমি ঐ যন্ত্রকে (i) অ্যামমিটার এবং (ii) ভোল্টমিটারে পরিণত করবে? এই কাজ করবার পূর্বে গ্যালভানোমিটার সম্পর্কে কী কী তথ্য জানা দরকার?
- স্ট্যান্ড ব্যবহার করে কোনো গ্যালভানোমিটারকে অ্যামমিটারে রূপান্তরিত করা হলে অ্যামমিটার প্রবাহ ও গ্যালভানোমিটার প্রবাহের সম্পর্ক চিত্র সহযোগে নির্ণয় করো। ঐ রূপান্তরের জন্য সাধারণত কীরূপ গ্যালভানোমিটার ব্যবহার করা হয়?

[সংকেত : 3.17 অনুচ্ছেদ দ্রষ্টব্য। ঐ কাজের জন্য কম রোধের গ্যালভানোমিটার প্রয়োজন]

সংক্ষিপ্ত উত্তরের প্রশ্ন

- তড়িৎবাহী তারের সন্নিকটে উৎপন্ন চৌম্বক ক্ষেত্রের দিক নির্দেশক সূত্রটি বিবৃত করো।
- একটি খাড়া অবলম্বনের ওপর একটি সূচিচুম্বক আলিস্থিত আছে। একটি তড়িৎবাহী তারকে চুম্বকের অক্ষ বরাবর চুম্বকের কিছু উপরে ধরলে চুম্বকের অবস্থান কীরূপ হবে? নিম্নলিখিত ক্ষেত্রে চুম্বকের অবস্থানের কীরূপ পরিবর্তন লক্ষ করা যাবে: (ক) তারটি চুম্বকের কিছু উপরে (খ) তারটি চুম্বকের কিছু নীচে (গ) প্রবাহের অভিমুখ উল্টো হলে।
- একটি তামার তার একটি সূচি-চুম্বকের ওপর দিয়ে পূর্ব-পশ্চিম দিকে অটকানো আছে। যদি ব্যাটারির পজিটিভ মেরু ঐ তারের পশ্চিম-প্রান্তে এবং নেগেটিভ মেরু পূর্ব প্রান্তে যুক্ত থাকে তবে সূচি-চুম্বক কীরূপে ব্যবহার করবে?
- সাইক্লোট্রন কম্পাঙ্ক কি? এর একটি রাশিমালা নির্ণয় করো।
- সরলরেখায় গতিশীল একটি প্রোটন একটি তীব্র চৌম্বকক্ষেত্রে প্রবেশ করল। চৌম্বকক্ষেত্রের অভিমুখ যদি প্রোটনের গতির অভিমুখের সমান্তরাল হয় তবে প্রোটনের গতিপথ এবং গতিবেগের কীরূপ পরিবর্তন হবে?
- দুটি অতি দীর্ঘ সমান্তরাল তারে একই দিকে সমান প্রবাহ যাচ্ছে। নিম্নলিখিত প্রশ্নের উত্তর দাও :— (ক) কোনো তারের প্রবাহের দরুন অপর তারের কোনো বিন্দুতে চৌম্বক ক্ষেত্রের অভিমুখ কী? (খ) কোনো তারের দরুন অপর তারে প্রযুক্ত বল কত? (গ) প্রত্যেক তারের প্রবাহ দ্বিগুণ করলে, ঐ বল কীরূপভাবে পরিবর্তিত হবে। (ঘ) দুই তারের সম-দূরবর্তী কোনো বিন্দুতে চৌম্বক ক্ষেত্রের অভিমুখ কী? [I.I.T 1973]
- [সংকেত : (ক) কোনো তারের প্রবাহের দরুন অপর তারের কোনো বিন্দুতে চৌম্বক ক্ষেত্রের অভিমুখ হবে ঐ বিন্দু হতে প্রথম তারের অরীয় দূরত্বের (radial distance) স্পর্শক বরাবর। (খ) তারের প্রবাহ সমমুখী বলে এক তার অপর তারের ওপর আকর্ষণ বল প্রয়োগ করবে। (গ) আকর্ষণ বল প্রবাহমাত্রা দুটির গুণফলের সমানুপাতিক অর্থাৎ, $F \propto i_1 i_2$. অতএব প্রত্যেক তারের প্রবাহ দ্বিগুণ করলে আকর্ষণ বল চারগুণ হবে। (ঘ) দুই তারের সমদূরবর্তী বিন্দুতে দুই তারের দরুন চৌম্বক ক্ষেত্র সমান এবং বিপরীতমুখী হবে। অতএব ঐ বিন্দুতে কোনো চৌম্বক ক্ষেত্র থাকবে না।]
- দুটি অতি দীর্ঘ সমান্তরাল তার দিয়ে একই প্রবাহ যাচ্ছে। দুই তার হতে সমদূরবর্তী বিন্দুতে চৌম্বক ক্ষেত্র কি হবে যখন (i) প্রবাহদ্বয় একই দিকে অভিমুখী এবং (ii) প্রবাহদ্বয় বিপরীত দিকে অভিমুখী।
- ভোল্টমিটার এবং অ্যামমিটারের মধ্যে মৌলিক পার্থক্য কী?
- কার রোধ বেশি (i) মিলিঅ্যামমিটার এবং অ্যামমিটার (ii) মিলিভোল্টমিটার এবং ভোল্টমিটার? আদর্শ অ্যামমিটার ও আদর্শ ভোল্টমিটারের রোধ কীরূপ হওয়া উচিত?
- ভুলক্রমে একটি তড়িৎবর্তনীতে একটি রোধকের সমান্তরালে অ্যামমিটার ও শ্রেণি সমবায়ী ভোল্টমিটার লাগানো হল। যন্ত্র দুটির অবস্থা কী হবে?

[সংকেত : যন্ত্র দুটি নষ্ট হয়ে যাবে। ভোল্টমিটার একটি উচ্চ রোধের যন্ত্র। শ্রেণি সমবায়ী লাগালে, উচ্চ রোধের জন্য যে তাপ উৎপন্ন হবে ($i^2 R t$) তা যন্ত্রটির কুণ্ডলীকে পুড়িয়ে ফেলবে। অ্যামমিটার, অপর পক্ষে একটি নিম্নরোধের

যন্ত্র। সমান্তরাল সমবায়ে লাগালে বর্তনীর মূল প্রবাহের বেশির ভাগ অংশ অ্যামিটারে যাবে এবং তা যে তাপ উৎপন্ন করবে তাতে যন্ত্রের কুণ্ডলী পুড়ে যাবে।]

11. অ্যামিটারের রোধ কম ও ভোল্টমিটারের রোধ বেশী হয় কেন ব্যাখ্যা করো।

→ অতিসংক্ষিপ্ত উত্তরের প্রশ্ন

1. অ্যাম্পিয়ারের সন্তরণ নিয়ম থেকে কি জানা যায় ?
2. চুম্বকের উপর তড়িৎপ্রবাহের ফল কে প্রথম লক্ষ্য করেন ?
3. X-অক্ষ বরাবর গতিশীল একটি ইলেকট্রন Y-অক্ষ বরাবর বিক্ষিপ্ত হল। এই বিক্ষেপ চৌম্বক ক্ষেত্র দ্বারা সংঘটিত হলে, চৌম্বক ক্ষেত্রের অভিমুখ কি ? আমরা কি এই সিদ্ধান্ত করতে পারি যে চৌম্বকক্ষেত্র Z-অক্ষ বরাবর ক্রিয়া করছে ?
4. B চৌম্বক প্রাবল্যের ক্ষেত্রে v গতিবেগে সঞ্চারশীল তড়িতাধান q -এর উপর কত বল ক্রিয়া করে ?
5. স্থির তড়িতাধানের উপর চৌম্বকক্ষেত্র কি কোন বল প্রয়োগ করে ?
6. দুটি সমান্তরাল তারে বিপরীতমুখী তড়িৎপ্রবাহ থাকলে তার দুটির ভিতর ক্রিয়ারত বলের অভিমুখ কি হবে ?
7. একটি দীর্ঘ সলিনয়েডে তড়িৎপ্রবাহ পাঠানো হল। সলিনয়েডের ভিতরে এবং বাইরে কি চৌম্বক ক্ষেত্র সৃষ্টি হবে ?
8. একটি তড়িতাধান q এমন একটি অঞ্চলের ভিতর দিয়ে যাচ্ছে যেখানে চৌম্বক ক্ষেত্র \vec{B} এবং তড়িৎক্ষেত্র \vec{E} যুগপৎ বিদ্যমান। আধানের উপর লোরেন্স বল কত ?
9. $\frac{4\pi}{\mu_0}$ -এর মান কত ?
10. একটি সুয়ম ক্ষেত্রের অভিলম্ব রূপে একটি ইলেকট্রন ক্ষেত্রের ভিতর প্রবেশ করল এবং বিক্ষিপ্ত হল। ক্ষেত্রটি চৌম্বক ক্ষেত্র কি তড়িৎক্ষেত্র কি করে বুঝবে ?
[সংকেত : ইলেকট্রন অধিবৃত্ত (parabolic) পথে বিক্ষিপ্ত হলে ক্ষেত্রটি তড়িৎক্ষেত্র আর বৃত্তাকার পথে বিক্ষিপ্ত হবে ক্ষেত্রটি চৌম্বক ক্ষেত্র।]

11. কার রোধ কম— (i) অ্যামিটার না ভোল্টমিটার ?

→ বহুমুখী পছন্দের প্রশ্ন [Multiple choice type (MCQ)]

- (A) নিচুল উত্তরটি $\sqrt{\quad}$ চিহ্নিত করো :

- [i] দুটি সমান্তরাল তারের একটিতে 100A এবং অন্যটিতে 20A প্রবাহ যাচ্ছে। তারা পরস্পরকে 0.08Nm^{-1} বলে বিকর্ষণ করলে, তাদের ব্যবধান হবে
(A) 1 mm (B) 5 mm (C) 10 mm (D) 15 mm.
- [ii] একটি আয়তক্ষেত্র আকার দিয়ে একটি সরু ও নমনীয় তারকে টেবিলের উপর রাখা হল। তার দিয়ে তীব্র তড়িৎপ্রবাহ পাঠালে তারের আকার হবে
(A) ত্রিভুজাকৃতি (B) গোলাকৃতি (C) ঘড়ভুজাকৃতি (D) আয়তাকার।
- [iii] একটি ধনাত্মক তড়িতাধান পূর্বামুখী যেতে যেতে একটি চৌম্বকক্ষেত্র দ্বারা উত্তরাভিমুখী বিক্ষিপ্ত হল। চৌম্বক ক্ষেত্রের অভিমুখ
(A) পূর্ব দিকে (B) দক্ষিণ দিকে (C) উর্ধ্বমুখী (D) নিম্নমুখী।
- [iv] একটি তড়িতাহিত কণাকে সুতোয় বেধে মসৃণ টেবিলের উপর অনভূমিক বৃত্তপথে ঘোরানো হচ্ছে। সুতোর অপর প্রান্ত দৃঢ়ভাবে আবদ্ধ। যদি উল্লম্ব দিকে ক্রিয়ারত একটি চৌম্বক ক্ষেত্র কণার উপর আরোপ করা যায় তবে সুতোয় টান
(A) বৃদ্ধি পাবে (B) হ্রাস পাবে
(C) একই থাকবে (D) বাড়তেও পারে কমতেও পারে।
- [v] 1 cm^2 ক্ষেত্রফলের একটি বৃত্তাকার লুপে 10A প্রবাহ যাচ্ছে। লুপের তলের অভিলম্বভাবে 0.1T প্রাবল্যের চৌম্বকক্ষেত্র আরোপ করলে, লুপের উপর টর্ক হবে
(A) শূন্য (B) 10^{-4} N-m (C) 10^{-2} N-m (D) 1 N-m .
- [vi] প্রোটন ও ইলেকট্রনের একটি গুচ্ছ সমবেগে একটি অভিলম্ব চৌম্বকক্ষেত্রে প্রবেশ করল। প্রোটন ও ইলেকট্রনগুলি
(A) বিক্ষিপ্ত হবে না,
(B) পৃথক না হলে একই কোণে বিক্ষিপ্ত হবে,
(C) বিভিন্ন কোণে বিক্ষিপ্ত হবে ; ফলে তা পৃথক হয়ে যাবে,
(D) তারা পৃথক হয়ে বিভিন্ন কোণে বিক্ষিপ্ত হবে।

- [vii] স্থিরাবস্থায় থাকা একটি আহিত কণা যদি কোন তড়িৎচুম্বকীয় বল অনুভব না করে, তবে সেখানে
 (A) তড়িৎক্ষেত্র হবে শূন্য,
 (B) চৌম্বক ক্ষেত্র হবে শূন্য,
 (C) তড়িৎক্ষেত্র শূন্য হতেও পারে আবার নাও পারে,
 (D) চৌম্বক ক্ষেত্র শূন্য হতেও পারে আবার নাও হতে পারে।

- [viii] চৌম্বক ক্ষেত্র ও তড়িৎক্ষেত্র সম্বলিত একটি অঞ্চলের ভিতর দিয়ে একটি আহিত কণা u গতিবেগে বিক্ষিপ্ত না হয়ে চলে গেল। এক্ষেত্রে

- (A) \vec{E} এবং \vec{B} সমান্তরাল এবং \vec{u} ও \vec{E} সমান্তরাল নয়,
 (B) \vec{E} এবং \vec{B} সমান্তরাল নয়,
 (C) \vec{u} ও \vec{B} সমান্তরাল কিন্তু \vec{E} ও \vec{B} সমান্তরাল নয়,
 (D) \vec{E} এবং \vec{B} সমান্তরাল কিন্তু \vec{u} এবং \vec{E} সমান্তরাল নয়।

- [ix] একটি প্রোটন \vec{u} গতিবেগে \vec{B} চৌম্বকক্ষেত্রের বিপরীত দিকে অগ্রসর হচ্ছে। প্রোটনের উপর চৌম্বক বল
 (A) Bev (B) $-Bev$ (C) Bu (D) শূন্য।

- [x] একটি চৌম্বক ক্ষেত্রের অভিলম্ব দিকে গতিশীল থেকে একটি আহিত কণা চৌম্বক ক্ষেত্রে প্রবেশ করল। নিম্নলিখিত অনুঘটকগুলির মধ্যে কোনটি পরিবর্তিত হবে ?

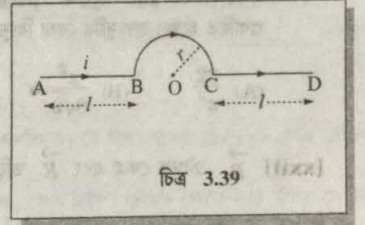
- (A) কণার দ্রুতি (B) কণার গতিশক্তি
 (C) কণার গতিপথ (D) কণার আধান।

- [xi] 3.39 নং চিত্রে প্রদর্শিত অর্ধবৃত্তের কেন্দ্রবিন্দুতে (O) দুই স্বল্প অংশ AB এবং CD-র তড়িৎপ্রবাহের দরুন চৌম্বক ক্ষেত্র হবে

- (A) শূন্য (B) $\frac{\mu_0 i}{4r}$ (C) $\frac{\mu_0 i}{2r}$ (D) অসীম।

- [xii] উপরোক্ত প্রশ্নে অর্ধবৃত্তের প্রবাহের দরুন O বিন্দুতে চৌম্বক প্রাবল্য হবে

- (A) শূন্য (B) $\frac{\mu_0 i}{4r}$ (C) $\frac{\mu_0 i}{2r}$ (D) অসীম।



চিত্র 3.39

- [xiii] সূচম বেগে গতিশীল একটি তড়িৎআধান

- (A) কেবল তড়িৎক্ষেত্র সৃষ্টি করে,
 (B) কেবল চৌম্বক ক্ষেত্র সৃষ্টি করে,
 (C) তড়িৎ এবং চৌম্বক দুই ক্ষেত্রই সৃষ্টি করে,
 (D) কোনো ক্ষেত্রই সৃষ্টি করে না।

- [xiv] \vec{u} গতিবেগ নিয়ে ধনাত্মক তড়িৎপ্রবাহ একটি কণা \vec{B} প্রাবল্যের চৌম্বকক্ষেত্রে প্রবেশ করল। কণাটি সর্বাধিক বিক্ষেপ বল অনুভব করবে যখন \vec{u} এবং \vec{B} ভেক্টরদ্বয়ের ভিতরকার কোণ

- (A) 0° (B) 45° (C) 90° (D) 180° ।

- [xv] একটি দীর্ঘ ফাঁপা নলের ভিতর দিয়ে তড়িৎপ্রবাহ গেলে, তার দরুন চৌম্বক ক্ষেত্র তৈরী হবে,

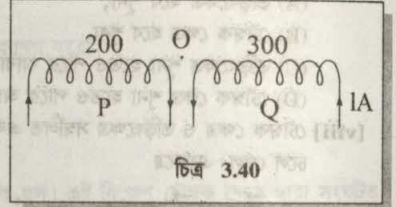
- (A) কেবল নলের অভ্যন্তরে,
 (B) কেবল নলের বাইরে,
 (C) অভ্যন্তরে ও না, বাইরেও না,
 (D) অভ্যন্তর এবং বাইরে-দু জায়গায়।

- [xvi] একটি ইলেকট্রন (ভর = 9×10^{-31} kg; আধান = 1.6×10^{-19} C) 10^6 ms $^{-1}$ গতিবেগ নিয়ে একটি চৌম্বক ক্ষেত্রে প্রবেশ করার পর 0.1 m ব্যাসার্ধের বৃত্তপথে বিক্ষিপ্ত হল। চৌম্বক ক্ষেত্রের মান

- (A) 1.8×10^{-4} T (B) 5.6×10^{-5} T
 (C) 14.4×10^{-5} T (D) 1.3×10^{-6} T

[xvii] সমদৈর্ঘ্যের কিন্তু ভিন্ন পাকসংখ্যার দুটি সলিনয়েড P এবং Q সমীক্ষারভাবে বসানো আছে (চিত্র 3.40)। P-এর পাকসংখ্যা 200 এবং Q-এর 300। Q-এ 1A তড়িৎপ্রবাহ যাচ্ছে। P-এ কত তড়িৎপ্রবাহ গেলে কুণ্ডলীদ্বয়ের মধ্যবিন্দু O-তে লব্ধ ক্ষেত্রপ্রাবল্য শূন্য হবে?

- (A) $\frac{2}{3}A$ (B) $\frac{3}{2}A$ (C) 1A (D) $\frac{4}{3}A$



চিত্র 3.40

[xviii] 3.41 নং চিত্রে প্রদর্শিত একটি স্বজুতারে y-অক্ষ বরাবর তড়িৎপ্রবাহ যাচ্ছে।

- (A) P-বিন্দুতে চৌম্বকক্ষেত্র x-অক্ষের সমান্তরাল
(B) চৌম্বক ক্ষেত্র Z-অক্ষের সমান্তরাল
(C) চৌম্বক বলরেখা সমকেন্দ্রিক বৃত্ত যার কেন্দ্রবিন্দু তারের উপর স্থাপিত
(D) তারের দক্ষিণে ও বামে চৌম্বক ক্ষেত্রের অভিমুখ বিপরীত।

[xix] দুটি দীর্ঘ, সরু এবং সমান্তরাল তারের প্রত্যেকটিতে i অ্যাম্পিয়ার প্রবাহ যাচ্ছে। তার দুটির ব্যবধান b। প্রতি তারে অপর তারের একক দৈর্ঘ্যে যে বল প্রয়োগ করবে তা

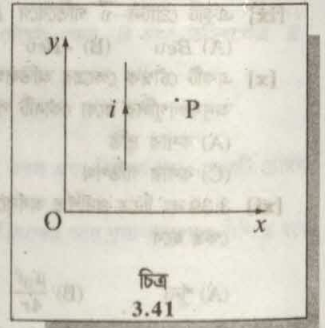
- (A) $\frac{\mu_0 i^2}{b^2}$ (B) $\frac{\mu_0 i^2}{2\pi b}$ (C) $\frac{\mu_0 i}{2\pi b}$ (D) $\frac{\mu_0 i}{2\pi b^2}$

[xx] একটি মিলিঅ্যামিটারের পাল্লা 0-40 mA এবং রোধ 2Ω। যন্ত্রের পাল্লা 100 mA পর্যন্ত বৃদ্ধি করতে যে সাঁট দরকার তা

- (A) 0.5Ω (B) 0.75Ω (C) 1.33Ω (D) 2Ω

[xxi] 2m বাহুবিশিষ্ট একটি বর্গাকার তারের ক্ষেত্রে 2A তড়িৎপ্রবাহ যাচ্ছে। একই প্রবাহ 2m পরিসীমা (perimeter)-র একটি বৃত্তাকার তারে প্রবাহিত হচ্ছে। তার দুটির কেন্দ্র বিন্দুতে উৎপন্ন চৌম্বক ক্ষেত্রের অনুপাত

- (A) $\frac{32}{\pi^2}$ (B) $\frac{\pi^2}{8\sqrt{2}}$ (C) $\frac{8\sqrt{2}}{\pi^2}$ (D) $\frac{\pi^2}{32}$



চিত্র 3.41

[xxii] \vec{B} চৌম্বক ক্ষেত্র এবং \vec{E} তড়িৎক্ষেত্রের উপস্থিতিতে একটি গতিশীল আধানের উপর মোট বল

- (A) $\vec{F} = \vec{V} \left[\left(\vec{q} \times \vec{B} + \vec{E} \right) \right]$ (B) $\vec{F} = q \left[\left(\vec{V} \times \vec{E} + \vec{B} \right) \right]$
(C) $\vec{F} = q \left[\left(\vec{V} \times \vec{B} \right) + \vec{E} \right]$ (D) $\vec{F} = \vec{B} \left[\left(\vec{q} \times \vec{E} + \vec{V} \right) \right]$

[xxiii] 40 mm ব্যাসার্ধের একটি বৃত্তাকার তারকুণ্ডলীতে 250 পাক আছে। প্রত্যেক পাকের প্রবাহমাত্রা 20 mA। কুণ্ডলীর কেন্দ্রে চৌম্বকক্ষেত্র, ($\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ Hm}^{-1}$)

- (A) $0.785 \times 10^{-2} \text{ T}$ (B) $0.525 \times 10^{-3} \text{ T}$
(C) $0.629 \times 10^{-3} \text{ T}$ (D) $0.9 \times 10^{-3} \text{ T}$

[xxiv] একটি অঞ্চলে স্থির এবং সুষম তড়িৎক্ষেত্র ও চৌম্বকক্ষেত্র কাজ করছে। ক্ষেত্র দুটি পরস্পরের সমান্তরাল। একটি তড়িৎচালিত কণাকে স্থিরাবস্থায় রেখে ওই অঞ্চলে ছেড়ে দেওয়া হল। কণাটির গতিপথ হবে

[A.I.E.E. Exam. 2006]

- (A) সরল রৈখিক (B) উপবৃত্তাকার
(C) বৃত্তাকার (D) হেলিক্স।

[xxv] একটি দীর্ঘ সলিনয়েডের প্রতি সেন্টিমিটারে পাক সংখ্যা 200 এবং প্রবাহমাত্রা i; এর কেন্দ্রে চৌম্বক ক্ষেত্রের মান $6.28 \times 10^{-2} \text{ Wbm}^{-2}$ । আর একটি দীর্ঘ সলিনয়েডের প্রতি সেন্টিমিটারে পাকসংখ্যা 100 এবং প্রবাহমাত্রা i/3। এই সলিনয়েডের কেন্দ্রে চৌম্বক ক্ষেত্রের মান

[A.I.E.E. Exam. 2006]

- (A) $1.05 \times 10^{-5} \text{ Wbm}^{-2}$ (B) $1.05 \times 10^{-3} \text{ Wbm}^{-2}$
(C) $1.05 \times 10^{-4} \text{ Wbm}^{-2}$ (D) $1.05 \times 10^{-2} \text{ Wbm}^{-2}$

[xxvi] $1.6 \times 10^{-27} \text{ kg}$ ভরের একটি প্রোটিন 0.1 m ব্যাসার্ধের বৃত্তপথে পরিভ্রমণ করে যখন অভিকেন্দ্র বল $4 \times 10^{13} \text{ N}$; এই সময় প্রোটিনের আবর্তন কম্পাঙ্ক হবে,

[Jt. Entrance 2006]

(A) 8×10^8 per sec

(B) 4×10^8 per sec

(C) 8×10^6 per sec

(D) 8×10^5 per sec.

[xxvii] যদি E মানের একটি সু্যম তড়িৎক্ষেত্রে একটি ইলেকট্রন যার আধান $-e$ এবং ভর m উপস্থিত থাকে যাতে ইলেকট্রনের উপর তড়িৎক্ষেত্রের জন্য বল ইলেকট্রনের ওজনে সমান হয়, তাহলে E-এর মান হবে

[Jt. Entrance 2006]

(A) $\frac{mg}{e}$

(B) mge

(C) $\frac{e}{mg}$

(D) $\frac{e^2 g}{m^2}$

(B) শূন্যস্থান পূরণ করো (Fill up the blanks) :

- [i] 100 cm^2 ক্ষেত্রফলের একটি বৃত্তাকার তার কুন্ডলীর পাক সংখ্যা 100. কুন্ডলীয় তল 0.01 Wbm^2 প্রাবল্যের একটি চৌম্বক ক্ষেত্রের সমান্তরাল। কুন্ডলী দিয়ে 10A প্রবাহ গেলে কুন্ডলীর উপর কার্যকর টর্ক _____।
- [ii] এক পাক বিশিষ্ট একটি বৃত্তাকার তারকুন্ডলীতে তড়িৎ প্রবাহের দরুন কুন্ডলীর কেন্দ্রে চৌম্বক ক্ষেত্র প্রাবল্য B। কুন্ডলীর পাক খুলে আবার দুপাক বিশিষ্ট বৃত্তাকার তারকুন্ডলী তৈরি করলে একই প্রবাহের জন্য কুন্ডলীর কেন্দ্রে চৌম্বক ক্ষেত্র হবে B এর মানের _____।
- [iii] কোন গতিশীল তড়িতাধান তার চতুর্দিকে _____ ক্ষেত্র সৃষ্টি করে কিন্তু তড়িতাধান স্থির থাকলে, এরূপ কোন ক্ষেত্র সৃষ্টি হবে না।
- [iv] কোনো তড়িতাধান একই সঙ্গে তড়িৎক্ষেত্র এবং চৌম্বক ক্ষেত্রের ভিতর দিয়ে গেলে মোট যে বল অনুভব করে, তাকে _____ বলে।
- [v] তড়িৎবাহী অতি দীর্ঘ দৃষ্টি সমান্তরাল তারে প্রবাহ _____ হলে, তারা পরস্পরকে _____ করে কিন্তু প্রবাহ _____ হলে, তারা পরস্পরকে _____ করে।
- [vi] গ্যালভানোমিটারকে ভোল্টমিটারে পরিণত করতে হলে, _____ রোধ _____ সমবায়ে যুক্ত করতে হয় কিন্তু অ্যামিটারে পরিণত করতে হলে _____ রোধ _____ সমবায়ে যুক্ত করতে হয়।
- [vii] তড়িৎবাহী তার চৌম্বক ক্ষেত্রে রাখলে তারের বিক্ষেপের অভিমুখ পাওয়া যায় ফেমিং এর _____ নিয়ম থেকে।

(C) ভুল কি নির্ভুল বিচার করো (True or false type) :

- [i] i_1 এবং i_2 তড়িৎপ্রবাহ যুক্ত দুটি তার পরস্পরের লম্বভাবে অবস্থিত। যে সঞ্চারপথের (locus) সর্বত্র চৌম্বক প্রাবল্য শূন্য সেটি একটি বৃত্ত।
- [ii] I দৈর্ঘ্যের একটি তারে i প্রবাহ যাচ্ছে। তারটিকে বৃত্তাকার দিলে, কোন নির্দিষ্ট চৌম্বক ক্ষেত্রে তার উপর যে টর্ক ক্রিয়া করে তা সর্বাধিক মান পায় যখন কুন্ডলীর পাকসংখ্যা হয় 1 এ সর্বাধিক টর্কের মান হয় $\frac{I^2 i B}{4\pi}$ ।
- [iii] স্থির তড়িৎবাহী একটি আয়তাকার তার কুন্ডলীকে কোন চৌম্বক ক্ষেত্রে মৃতভাবে ঝোলানো কুন্ডলীর উপর কোন বল ক্রিয়া করে না।
- [iv] একটি গ্যালভানোমিটারকে অ্যামিটারে পরিণত করা যায় যদি নিম্ন মানের রোধ গ্যালভানোমিটারের সাথে শ্রেণি সমবায়ে যুক্ত করা হয়।
- [v] একটি নিউক্লিয়াসের চতুর্দিকে $5.1 \times 10^{-11} \text{ m}$ ব্যাসার্ধের বৃত্তপথে একটি ইলেকট্রন প্রতি সেকেন্ডে 3.2×10^{15} বার প্রদক্ষিণ করছে। বৃত্তের কেন্দ্রে চৌম্বক ক্ষেত্রে প্রাবল্য হবে 6.3 Wbm^{-2} ।
- [vi] একটি দীর্ঘ সলিনয়েডে তড়িৎপ্রবাহ গেলে, সলিনয়েডের অভ্যন্তরে চৌম্বক ক্ষেত্র সু্যম কিন্তু বাইরে প্রায় শূন্য।

গাণিতিক প্রশ্ন

1. 5 cm লম্বা এবং 2 A তড়িৎপ্রবাহবাহী একটি পরিবাহী 2000 oersted এর এক সু্যম চৌম্বকক্ষেত্রে লম্বভাবে রাখলে তার ওপর কত বল ক্রিয়া করবে? পরিবাহীটি ক্ষেত্রের সমান্তরালে থাকলে বলের মান কী হবে?

[Ans. 2000 dyne; 0]

[সংকেত : বল = $Hil/10$ dyne]

2. একটি 10Ω রোধের গ্যালভানোমিটার 10 mA প্রবাহে পূর্ণ স্কেল বিক্ষেপ দেখায়। গ্যালভানোমিটারকে (i) 0-2A প্রবাহ পাল্লার অ্যামিটার এবং (ii) 0-5V ভোল্টেজ পাল্লার ভোল্টমিটারে রীতিমতে ব্যবহার করা যাবে?

[Ans. (i) 0.05Ω সার্কিট (ii) 490 Ω শ্রেণি সমবায়ে]

3. 750 Ω রোধের গ্যালভানোমিটার 0.005A পর্যন্ত প্রবাহ মাপতে পারে। এ দ্বারা 3A পর্যন্ত প্রবাহ পাঠ করতে হলে কী করা প্রয়োজন?

[Ans. 1.25 Ω সার্কিট]

4. একটি মিলি-অ্যামিটারের পঠনসীমা 0.15 mA পর্যন্ত। তার রোধ 5 Ω। তাকে 0.75 V পর্যন্ত পঠনক্ষম ভোল্টমিটারে রূপান্তরিত করতে হলে কী করা প্রয়োজন? [Ans. 4995 Ω শ্রেণি সমবায়ের যুক্ত করতে হবে]
5. একটি অ্যামিটার 1A তড়িৎ প্রবাহে পূর্ণ বিক্ষেপ প্রদর্শন করে। কী ব্যবস্থা গ্রহণ করলে তা 10A তড়িৎ-প্রবাহে পূর্ণ বিক্ষেপ দেখাবে? অ্যামিটারের রোধ 1 Ω. [Ans. $\frac{1}{9}$ ওহম সার্কিট]

$$[\text{সংকেত: } R_s = \frac{R}{n-1} = \frac{1}{10-1} = \frac{1}{9} \Omega]$$

6. 120 Ω রোধের একটি গ্যালভানোমিটার 5 × 10⁻⁴ A প্রবাহে পুরো স্কেল বিক্ষেপ দেয়। এর সাথে কত সার্কিট সমান্তরাল সমবায়ের যুক্ত করলে তা সর্বাধিক 5 A প্রবাহ মাপতে পারবে? এ অ্যামিটারের বর্তমান রোধ কত? [Ans. 0.012 Ω; 0.012 Ω]

7. একটি চল কুণ্ডলী গ্যালভানোমিটারের কুণ্ডলীর রোধ 50 Ω এবং 10 mA তড়িৎপ্রবাহ গেলে স্কেলে পূর্ণ বিক্ষেপ ঘটে। একে কীভাবে সর্বোচ্চ 100 V মাপার ভোল্টমিটারে পরিবর্তিত করা যায়? [Ans. 9950 Ω শ্রেণি সমবায়]

8. দুটি সুদীর্ঘ ঝড়ু এবং সমান্তরাল তার যথাক্রমে 100 A এবং 20 A তড়িৎ-প্রবাহ বহন করছে। তারা পরস্পরকে 0.08 Nm⁻¹ বলে বিকর্ষণ করলে, তাদের পারস্পরিক ব্যবধান কত? [Ans. 5 mm]

$$[\text{সংকেত: } f = \frac{\mu_0}{2\pi} \times \frac{i_1 i_2}{r} \text{ Nm}^{-1} \text{ ফর্মুলা প্রয়োগ করো।}]$$

→ কঠিনতর গাণিতিক প্রশ্ন

1. 100 পাক সংখ্যা বিশিষ্ট দুটি তারকুণ্ডলীর একটিকে উল্লম্ব তলে এবং অপরটি অনুভূমিক তলে সমকেন্দ্রিকভাবে স্থাপন করা হল। উল্লম্ব ও অনুভূমিক তারকুণ্ডলীদ্বয়ের ব্যাসার্ধ যথাক্রমে 20 cm এবং 30 cm; তাদের কেন্দ্রবিন্দুতে ভূ-চৌম্বক ক্ষেত্রকে প্রশমিত করা যাবে কীভাবে? এর জন্য তার কুণ্ডলীর ভিতর কত তড়িৎপ্রবাহ পাঠাবার প্রয়োজন? ভূ-চৌম্বক ক্ষেত্রের অনুভূমিক উপাংশ = 0.349 Oe এবং নতি কোণ = 30°
[সংকেত: ভূ-চৌম্বক ক্ষেত্রের উল্লম্ব উপাংশ = $H \cdot \tan 30^\circ = 0.349 \tan 30^\circ$]

$$[\text{Ans. 0.11 A; 0.096 A (প্রায়)}]$$

2. e তড়িতাধান যুক্ত একটি কণিকা B প্রাবালের একটি তীব্র চৌম্বক ক্ষেত্রের ভিতর অভিলম্বভাবে গিয়ে একটি সিসার ব্লকে প্রবেশ করল। এতে কণিকার গতিশক্তি অর্ধেক হ্রাস পেল। কণিকাটির গতিপথের বক্রতা-ব্যাসার্ধের কী পরিবর্তন হবে? [Ans. পূর্বের ব্যাসার্ধের $\frac{1}{\sqrt{2}}$ গুণ]

3. L দৈর্ঘ্যের একটি তারে i প্রবাহমাত্রা যাচ্ছে। প্রমাণ করো যে, তারটিকে বৃত্তাকার দেওয়া হলে, B চৌম্বক ক্ষেত্রে এ তারের কুণ্ডলীর ওপর সর্বাধিক টর্ক ক্রিয়া করবে যখন কুণ্ডলীতে একটি পাক (turn) থাকবে এবং এ সর্বাধিক টর্কের মান হবে $\tau_{\text{max}} = L^2 i B / 4\pi$.

4. 0.1 m দীর্ঘ একটি অনুভূমিক তার দিয়ে 5A তড়িৎপ্রবাহ যাচ্ছে। যে চৌম্বক ক্ষেত্র তারের ওপর তারের ওজনের সমান কিন্তু বিপরীতমুখী বল প্রয়োগ করতে পারবে তার মান ও অভিমুখ নির্ণয় করো। তারের ভর = $3 \times 10^{-3} \text{ kg m}^{-1}$. [Ans. $5.88 \times 10^{-3} \text{ T}$]

$$[\text{সংকেত: তারের ওজন} = 3 \times 10^{-3} \times 9.8 = 2.94 \times 10^{-3} \text{ N. চৌম্বক ক্ষেত্রের দরুন তারের ওপর বল} = B \cdot i \cdot l = B \times 5 \times 0.1 \text{ N. চৌম্বক ক্ষেত্র অনুভূমিক তলে থেকে তারের অভিলম্ব এবং পরীক্ষাকারীর দিকে অভিমুখী।}]$$

5. অনুভূমিক তলে পূর্ব থেকে পশ্চিমদিকে একটি তড়িতাহিত কণিকা $3 \times 10^6 \text{ ms}^{-1}$ বেগে চলে যাচ্ছে। এ অঞ্চলে খাড়া ঊর্ধ্বমুখী চৌম্বক ক্ষেত্র B ক্রিয়া করছে। চৌম্বকক্ষেত্রের প্রাবল্য $2 \times 10^{-3} \text{ T}$ হলে (i) কণার ওপর প্রযুক্ত বল এবং (ii) কণার স্বরণ নির্ণয় করো। কণার ভর = $1.67 \times 10^{-27} \text{ kg}$. [সংকেত: বল = $B \cdot e \cdot v \cdot \sin \theta$]

$$[\text{Ans. (i) } 9.6 \times 10^{-16} \text{ N (ii) } 5.8 \times 10^{11} \text{ ms}^{-2}]$$

6. 10⁻⁴ কুলম্ব আধান ও $10 \times 10^{-6} \text{ kg}$ ভরের একটি তড়িৎবাহী কণা $2.5 \times 10^{-2} \text{ T}$ চৌম্বক ক্ষেত্রের অভিলম্বভাবে 10 ms^{-1} গতিবেগ নিয়ে প্রবেশ করল। কণাটি বৃত্তপথে ঘুরে গেলে, এ বৃত্তের ব্যাসার্ধ এবং কণার বৃত্তগতির পর্যায়কাল নির্ণয় করো। [Ans. 40 m; 25 s]

7. হাইড্রোজেন পরমাণুর ইলেকট্রনটি প্রোটনের চতুর্দিকে $5.3 \times 10^{11} \text{ metre}$ ব্যাসার্ধের বৃত্তপথে $2.18 \times 10^6 \text{ ms}^{-1}$ গতিবেগে প্রদক্ষিণ করে। প্রোটনের ওপর ইলেকট্রন কতটা চৌম্বক ক্ষেত্র সৃষ্টি করে? ইলেকট্রনের তড়িতাধান $e = 1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$ [Ans. 12.42 tesla]

[সংকেত : এক সেকেন্ডে প্রদক্ষিণ সংখ্যা $n = \frac{v}{2\pi r}$; উৎপন্ন প্রবাহ $i = ne = \frac{v}{2\pi r} \cdot e$

$$\text{চৌম্বক ক্ষেত্র } B = \frac{\mu_0 i}{2r}$$

8. যেখানে ভূ-চৌম্বক ক্ষেত্রের অনুভূমিক উপাংশ $2 \times 10^{-5} \text{ T}$ সেখানে একটি বৃত্তাকার তারকুণ্ডলী দিয়ে কত তড়িৎ প্রবাহ পাঠালে, ঐ উপাংশের কোনো প্রভাব থাকবে না? কুণ্ডলীর পাকসংখ্যা 100 এবং ব্যাসার্ধ 5 cm।

[Ans. 15.9 mA]

9. 20Ω রোধের গ্যালভানোমিটার 0.5 mA প্রবাহের জন্য পূর্ণ স্কেল বিক্ষেপ দেখায়। 0 থেকে 5A প্রবাহ মাপতে পারে এমন অ্যামিটার হিসাবে ব্যবহারের জন্য এর কি পরিবর্তন প্রয়োজন?

[Ans. 0.002Ω সার্কিট]

10. একটি মিলি-অ্যামিটারের পঠন সীমা 0.15 mA পর্যন্ত। এর রোধ 5Ω । একে 0.75 V পর্যন্ত পঠনক্রম ভোল্টমিটারে রূপান্তরিত করতে হলে কী করা প্রয়োজন? [Jt. Entrance 2005] [Ans. 4995Ω শ্রেণি সমবায়ে]

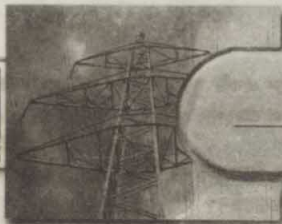
□ M.C.Q. প্রশ্নের উত্তর □

(A)

(i) B	(vi) C	(xi) A	(xvi) B	(xxi) B	(xxvi) C
(ii) B	(vii) A,D	(xii) B	(xvii) B	(xxii) C	(xxvii) A
(iii) D	(viii) A,B	(xiii) C	(xviii) C,D	(xxiii) A	
(iv) D	(ix) D	(xiv) A	(xix) B	(xxiv) D	
(v) A	(x) C	(xv) A	(xx) D	(xxv) D	

(B) [i] 0.1 N-m; [ii] চারগুণ; [iii] চৌম্বক; [iv] লোরেঞ্জ বল; [v] সমমুখী আকর্ষণ, বিপরীতমুখী বিকর্ষণ; [vi] উচ্চমানের, শ্রেণিসমবায়ে, নিম্নমানের সমান্তরাল সমবায়ে; [vii] বামহস্ত।

(C) [i] ভুল, [ii] নির্ভুল, [iii] নির্ভুল, [iv] ভুল, [v] নির্ভুল, [vi] নির্ভুল।



4.1. চৌম্বক দ্বিমেরু (Magnetic dipole) :

সমমেরুশক্তির একটি উত্তরমেরু এবং একটি দক্ষিণমেরু সামান্য তফাতে রেখে বসানো থাকলে তাদের চৌম্বক দ্বিমেরু বলে।

মেরুদ্বয়ের পারস্পরিক দূরত্ব $2l$ এবং মেরুশক্তি m হলে, এদের গুণফলকে বলা হয় দ্বিমেরু ভ্রামক (dipole moment)। দ্বিমেরু ভ্রামক একটি ভেক্টর রাশি। এর অভিমুখ দক্ষিণ মেরু থেকে উত্তর মেরুর দিকে। \vec{M} (অথবা p_m) প্রতীক দ্বারা দ্বিমেরু ভ্রামককে বুঝানো হয়।

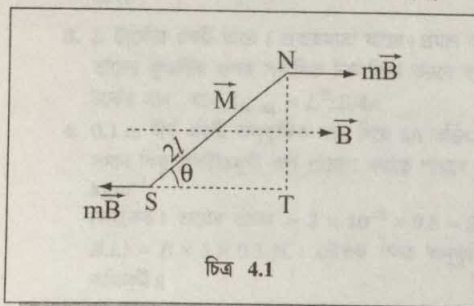
$$\text{ভ্রামকের মান, } M = m \times 2l$$

মনে রাখো যে ক্ষুদ্র দৈর্ঘ্যের দণ্ডচুম্বককে একটি চৌম্বক দ্বিমেরু রূপে গণ্য করা যায়।

দ্বিমেরু ভ্রামকের S.I. একক হল Am^2 । এক পাক বিশিষ্ট এক বর্গ মিটার ফ্রেডফলের লুপ 1A তড়িৎ প্রবাহ বহন করলে যে চৌম্বক ভ্রামক উৎপন্ন করে সেটাই Am^2 ।

4.2. সুষম চৌম্বকক্ষেত্রে চৌম্বক দ্বিমেরু (Magnetic dipole in a uniform magnetic field) :

মনে কর, $2l$ দৈর্ঘ্যের একটি চৌম্বক দ্বিমেরু সুষম চৌম্বকক্ষেত্র B -এ রাখা আছে। দ্বিমেরুর প্রতিটি মেরুর



চিত্র 4.1

শক্তি $= m$ । মনে কর, চৌম্বক দ্বিমেরু ভ্রামক \vec{M} চৌম্বক ক্ষেত্র \vec{B} -এর সাথে θ কোণে আনত (চিত্র 4.1)।

দ্বিমেরুর প্রতি মেরুতে চৌম্বকক্ষেত্রের জন্য প্রযুক্ত বল F হলে, $F = mB$

বলদ্বয় (i) সমমানের (ii) অভিমুখে বিপরীত এবং (iii) ভিন্ন রেখা বরাবর

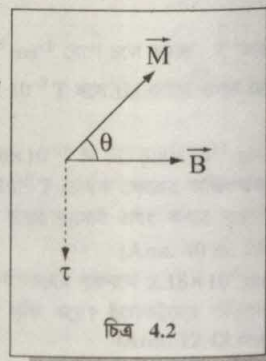
ক্রিয়া করে বলে, তারা একটি দ্বন্দ্বের উদ্ভব করে। এই দ্বন্দ্বের ভ্রামক τ হলে, $\tau = F \times NT$

$$\Delta STN \text{ থেকে, পাই } \sin \theta = \frac{NT}{2l} \text{ অথবা, } NT = 2l \sin \theta$$

$$\begin{aligned} \therefore \tau &= mB \times 2l \sin \theta \\ &= (m \times 2l) B \sin \theta \\ &= MB \sin \theta \end{aligned}$$

$$\text{ভেক্টর অঙ্কপাতনে, } \vec{\tau} = \vec{M} \times \vec{B}$$

$\vec{\tau}$ এর অভিমুখ আমরা ভেক্টর ক্রস গুণনের নিয়ম থেকে পাব (চিত্র 4.2)।



চিত্র 4.2

এই দ্বন্দ্বের প্রভাবে দ্বিমেরু নিজেকে চৌম্বক ক্ষেত্র B এর সমান্তরালে স্থাপন করতে চেষ্টা করবে।

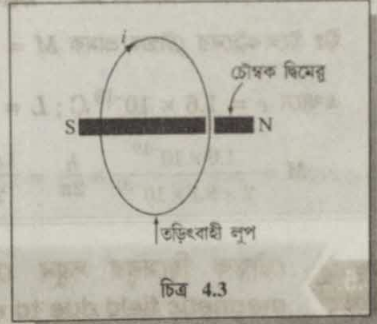
$$\theta = 90^\circ \text{ এবং } B = 1 \text{ হলে, } M = \tau$$

সুতরাং কোনো চৌম্বক দ্বিমেরুকে একক প্রাবল্যবিশিষ্ট ($B = 1$) চৌম্বকক্ষেত্রের অভিমুখের সমকোণে ($\theta = 90^\circ$) স্থাপন করতে যে যান্ত্রিক দ্বন্দ্বের প্রয়োজন তার ভ্রামককে চৌম্বক দ্বিমেরুর ভ্রামক বলা হয়। এভাবেও দ্বিমেরু ভ্রামকের সংজ্ঞা দেওয়া যায়।

4.3. তড়িৎবাহী লুপ এবং চৌম্বক দ্বিমেরু (A current loop as a magnetic dipole):

নিম্নলিখিত ভাবে দেখানো যেতে পারে যে i তড়িৎবাহী এবং A ক্ষেত্রফলবৃত্ত একটি লুপ একটি চৌম্বক দ্বিমেরুর মতো ব্যবহার করে। প্রবাহ লুপের দ্বিমেরু ভ্রামক হবে প্রবাহমাত্রা i এবং ক্ষেত্রফল A -এর গুণফলের সমান অর্থাৎ $M = iA$ এবং দ্বিমেরুটি লুপের অক্ষ বরাবর বসানো আছে মনে করতে হবে (চিত্র 4.3)।

3.16 অনুচ্ছেদে আমরা দেখেছি যে \vec{B} চৌম্বক ক্ষেত্রে রাখা প্রবাহ লুপ যে টর্ক অনুভব করে তা $\tau = BiA \sin \theta$ যেখানে θ = লুপের তলের অভিলম্ব (normal) এবং চৌম্বক ক্ষেত্রের অন্তর্বর্তী কোণ।



চিত্র 4.3

আবার পূর্ব অনুচ্ছেদে দেখেছি যে \vec{B} চৌম্বক ক্ষেত্রে রাখা একটি চৌম্বক দ্বিমেরু যে টর্ক অনুভব করে তা $\tau = MB \sin \theta$ টর্কের এই দুটি সম্পর্ক তুলনা করলে পাই $M = iA$ ।

4.4. আবর্তনশীল ইলেকট্রনের চৌম্বক দ্বিমেরু ভ্রামক (Magnetic dipole moment of a revolving electron):

আমরা কোনো পরমাণুর একটি ইলেকট্রনের কথা বিবেচনা করি যেটি ধনাত্মক তড়িৎগ্রন্থ নিউক্লিয়াসের চতুর্দিকে r ব্যাসার্ধের বৃত্তপথে ঘড়ির কাঁটার বিপরীত দিকে পরিভ্রমণ করছে [চিত্র 4.4]। পরিভ্রমণরত ইলেকট্রনটির গতি ঘড়ির কাঁটার অভিমুখে i তড়িৎ প্রবাহের উৎপত্তি করে যেখানে $i = \frac{e}{T}$ [e = ইলেকট্রনের তড়িৎধান এবং T = পরিভ্রমণরত ইলেকট্রনের পরিভ্রমণের পর্যায়কাল]

আবর্তনশীল ইলেকট্রনের কৌণিক গতিবেগ ω হলে,

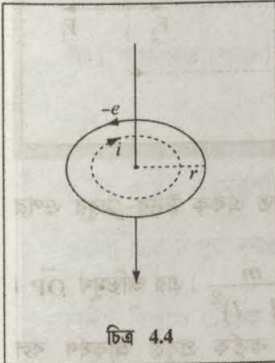
$$i = \frac{e}{2\pi / \omega} = \frac{\omega \cdot e}{2\pi}$$

প্রবাহলুপের চৌম্বক ভ্রামক $M = iA$ যেখানে A = কক্ষপথের তলক্ষেত্র (face area)। কিন্তু $A = \pi r^2$; অতএব,

$$M = i \times \pi r^2 = \frac{\omega \cdot e}{2\pi} \times \pi r^2 = \frac{\omega \cdot e \cdot r^2}{2} = \frac{e}{2m} (mr^2 \omega)$$

[m = ইলেকট্রনের ভর] আবার ইলেকট্রনের কৌণিক ভরবেগ $L = mr^2 \omega$ ।

$$\therefore \text{ইলেকট্রনের চৌম্বক ভ্রামক } M = \frac{e}{2m} \cdot L$$



চিত্র 4.4

ভেক্টর অঙ্কপাতনে $\vec{M} = -\frac{e}{2m} \cdot \vec{L}$

নেগেটিভ চিহ্ন বোঝায় যে চৌম্বক ভ্রামকের অভিমুখ কৌণিক ভরবেগের অভিমুখের বিপরীত।

পরমাণুতে একাধিক ইলেকট্রন থাকলে, পরমাণুর লব্ধি চৌম্বক ভ্রামক বিভিন্ন ইলেকট্রনের চৌম্বক ভ্রামকের ভেক্টর যোগফলের সমান হবে।

□ EXAMPLE □

একটি ইলেকট্রন স্থির কক্ষপথে আবর্তন করছে। ইলেকট্রনের কৌণিক ভরবেগ $\frac{h}{2\pi}$ হলে কক্ষীয় গতির জন্য ইলেকট্রনের চৌম্বক ভ্রামক কত? $h = 6.66 \times 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s}$; $e = 1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$; $m = 9.1 \times 10^{-31} \text{ kg}$.

উঃ ইলেকট্রনের চৌম্বক ভ্রামক $M = \frac{e}{2m} \cdot L$

এখানে $e = 1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$; $L = \frac{h}{2\pi}$; $m = 9.1 \times 10^{-31} \text{ kg}$.

$$\therefore M = \frac{1.6 \times 10^{-19}}{2 \times 9.1 \times 10^{-31}} \times \frac{h}{2\pi} = \frac{1.6 \times 10^{-19} \times 6.66 \times 10^{-34}}{2 \times 9 \times 10^{-31} \times 2 \times 3.14} = 9.3 \times 10^{-24} \text{ A}\cdot\text{m}^2$$

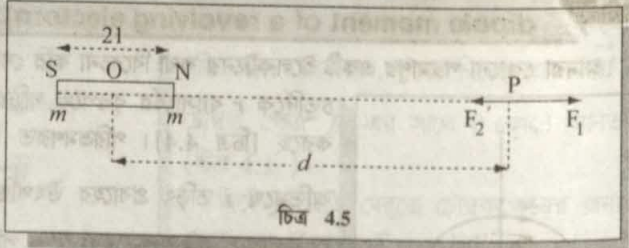
4.5.

চৌম্বক দ্বিমেরুর দরুন চৌম্বকক্ষেত্রের প্রাবল্য (Intensity of magnetic field due to a magnetic dipole):

(ক) প্রান্ত অবস্থান বা অক্ষস্থিত অবস্থান (End-on position or axial position):

NS একটি ক্ষুদ্র দণ্ড-চুম্বক (অথবা চৌম্বক দ্বিমেরু)। এর কার্যকর দৈর্ঘ্য $2l$ এবং মেরুশক্তি m ; দ্বিমেরুর অক্ষ বরাবর তার মাধ্যবিন্দু O থেকে d দূরে একটি বিন্দু P নেওয়া হল। (চিত্র 4.5)। P বিন্দুর এই অবস্থানকে প্রান্ত বা অক্ষস্থিত

অবস্থান বলা হয়। দ্বিমেরুর উভয় মেরুর দরুন P বিন্দুতে উৎপন্ন চৌম্বক প্রাবল্য নির্ণয় করতে হবে। চৌম্বক প্রাবল্যের সংজ্ঞা হতে আমরা জানি যে P-বিন্দুতে যদি একটি একক উত্তরমেরু কল্পনা করি তবে ঐ মেরু দ্বিমেরুর জন্য মোট যে-বল অনুভব



চিত্র 4.5

করবে সেটাই হবে P-বিন্দুতে চৌম্বক প্রাবল্য। এখন, P-বিন্দুতে স্থাপিত একক উত্তর-মেরুর ওপর

দ্বিমেরুর N-মেরু কর্তৃক প্রযুক্ত বিকর্ষণ বল, $F_1 = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{m \times 1}{(NP)^2} = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{m}{(d-l)^2}$ । এর অভিমুখ \vec{OP} ।

P বিন্দুতে স্থাপিত একক উত্তর-মেরুর ওপর দ্বিমেরুর S মেরু কর্তৃক প্রযুক্ত আকর্ষণ বল

$F_2 = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{m \times 1}{(SP)^2} = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{m}{(d+l)^2}$; এর অভিমুখ \vec{PO} ।

যেহেতু F_1 এবং F_2 একই রেখার বিপরীত দিকে ক্রিয়া করছে এবং যেহেতু S মেরু অপেক্ষা N-মেরু P-বিন্দুর নিকটবর্তী, সেইহেতু $F_1 > F_2$ ।

সুতরাং P বিন্দুতে লব্ধ বল = $F_1 - F_2$.

$$= \frac{\mu_0}{4\pi} \left[\frac{m}{(d-l)^2} - \frac{m}{(d+l)^2} \right] = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{4m \cdot l \cdot d}{(d^2 - l^2)^2} = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{2M \cdot d}{(d^2 - l^2)^2}; \text{এর অভিমুখ } \vec{OP}$$

[$M = 2 \cdot m \cdot l$ = দ্বিমেরুর চৌম্বকপ্রাথমক]

P বিন্দুতে চৌম্বকপ্রাবল্য F হলে, আমরা পাই, $F = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{2M \cdot d}{(d^2 - l^2)^2}$ (i)

এর অভিমুখ \vec{OP} বরাবর।

$$\left[\text{c.g.s পদ্ধতিতে } F = \frac{2M \cdot d}{(d^2 - l^2)^2} \right]$$

P বিন্দু খুব দূরে নিলে $d \gg l$ মনে করা যেতে পারে এবং সেক্ষেত্রে d^2 এর তুলনায় l^2 উপেক্ষণীয় হয়ে পড়ে। এই অবস্থায়,

$$F = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{2M \cdot d}{d^4} = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{2M}{d^3} \text{ অভিমুখ } \vec{OP} \dots\dots (ii)$$

$$\left[\text{c.g.s পদ্ধতিতে } F = \frac{2M}{d^3} \right]$$

[দ্র: P বিন্দুর উপরিউক্ত অবস্থানকে অনেক সময় ট্যানজেন্ট-A (tangent-A) অবস্থান বলা হয়।]

□ EXAMPLE □

একটি চৌম্বক দ্বিমেরু 10 cm দীর্ঘ এবং 13 A - m মেব্রশক্তিবিশিষ্ট। দ্বিমেরুর অক্ষ বরাবর দ্বিমেরু থেকে 15 cm দূরে দ্বিমেরুর দরুন চৌম্বকক্ষেত্র প্রাবল্য নির্ণয় করো।

উঃ। অক্ষস্থিত কোনো বিন্দুতে ক্ষেত্র-প্রাবল্য $F = \frac{\mu_0}{4\pi} \cdot \frac{2Md}{(d^2 - l^2)^2}$

এখানে, $m = 13 \text{ A-m}$; দ্বিমেরুর দৈর্ঘ্য = $2l = 10 \text{ cm} = 0.1 \text{ m}$; অতএব $l = 0.05 \text{ m}$.

$\therefore M = 2l \times \text{মেব্রশক্তি} = 0.1 \times 13 = 1.3 \text{ A-m}^2$ (অথবা J/T)

দ্বিমেরু হতে বিন্দুর দূরত্ব $d = 15 \text{ cm} = 0.15 \text{ m}$ এবং $\frac{\mu_0}{4\pi} = 10^{-7}$

নির্দিষ্ট বিন্দুতে চৌম্বক প্রাবল্য $F = 10^{-7} \times \frac{2 \times 1.3 \times 0.15}{\{(0.15)^2 - (0.05)^2\}^2} \text{ tesla}$

$$= 0.975 \times 10^{-4} \text{ tesla.}$$

(খ) পার্শ্ব অবস্থান বা বিষুব অবস্থান ((Broad - side on or equatorial position) :

পূর্বের ন্যায় NS একটি চৌম্বক দ্বিমেরু। এর কার্যকর দৈর্ঘ্য $2l$ এবং মেব্রশক্তি m ; দ্বিমেরু মধ্যবিন্দু O দিয়ে তার অক্ষের ওপর অভিলম্ব টেনে ঐ অভিলম্বের ওপর O-থেকে d দূরত্বে একটি বিন্দু

P নেওয়া হল (চিত্র 4.6)। P বিন্দুর এরূপ অবস্থানকে বলা হয় পার্শ্ব অবস্থান বা বিযুব অবস্থান। এই বিন্দুতে চৌম্বক ক্ষেত্রের প্রাবল্য নির্ণয় করতে হবে। মনে করো, P বিন্দুতে একটি একক উত্তর মেরু রাখা আছে। এখন এই একক মেরুর ওপর দিমেরুর N

মেরু কর্তৃক প্রযুক্ত বিকর্ষণ বল F_1 হলে, $F_1 = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{m \times 1}{(PN)^2}$

এবং এই বল \vec{PA} অভিমুখে ক্রিয়া করে।

এই একক মেরুর ওপর দিমেরুর S মেরু কর্তৃক প্রযুক্ত আকর্ষণ

বল, $F_2 = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{m \times 1}{(PS)^2}$ এবং এই বল \vec{PB} অভিমুখে ক্রিয়া

করে।

এখানে, $PN = PS$; কাজেই, $F_1 = F_2$; ধরাযাক, PA এবং PB বাহুদ্বয় এই সমান দুই বলকে প্রকাশ করছে। সুতরাং $PACB$ সামান্তরিকের কর্ণ PC লক্ষ বল F -কে প্রকাশ করবে। বলা বাহুল্য, দুই সমান বলের লব্ধি তাদের অন্তর্ভুক্ত কোণকে সমদ্বিখণ্ডিত করে। সুতরাং PC হবে দিমেরু অক্ষের

সমান্তরাল; এখন, $\triangle APC$ এবং $\triangle PNS$ সদৃশ (similar) হওয়ায়, $\frac{PC}{PA} = \frac{NS}{PN}$ অথবা,

$$\frac{\mu_0}{4\pi} \frac{F}{m/(PN)^2} = \frac{2l}{PN}$$

$$\therefore F = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{2ml}{(PN)^3} = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{M}{(PN)^3} \quad [M = 2ml = \text{দিমেরুর চৌম্বকভ্রামক}]$$

$$\text{এখন, } PN = (d^2 + l^2)^{\frac{1}{2}} \text{ অতএব } (PN)^3 = (d^2 + l^2)^{\frac{3}{2}}$$

$$\therefore F = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{M}{(d^2 + l^2)^{\frac{3}{2}}} ; \text{অভিমুখ } \vec{PC} \dots\dots (iii)$$

$$\text{পূর্বের ন্যায় } d^2 \gg l^2 \text{ হলে, } F = \frac{\mu_0}{4\pi} \cdot \frac{M}{d^3}$$

$$[\text{c.g.s পদ্ধতিতে } F = \frac{M}{(d^2 + l^2)^{\frac{3}{2}}}]$$

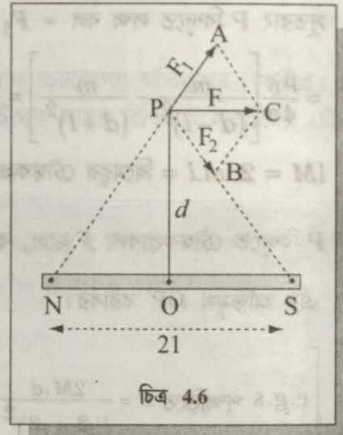
(ii) এবং (iv) নং সমীকরণ তুলনা করে বলা যায়, চৌম্বক দিমেরুর বেলাতে প্রান্তবিন্দুর প্রাবল্য সমদূরবর্তী বিযুব-বিন্দুর প্রাবল্যের দ্বিগুণ।

[দ্রষ্টব্য : P-বিন্দুর উপরিউক্ত অবস্থানকে অনেক সময় ট্যানজেন্ট-B (tangent - B) অবস্থান বলা হয়।]

□ EXAMPLES □

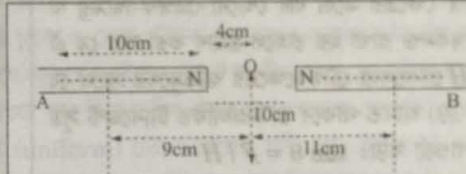
1. দুটি চুম্বক A এবং B এমনভাবে স্থাপন করা হল যে তাদের অক্ষ একই সরলরেখায় এবং উভয়ের উত্তর মেরু মুখোমুখিভাবে 10 cm ব্যবধানে আছে। প্রতিটি চুম্বক 10 cm দীর্ঘ। B চুম্বকের চৌম্বক ভ্রামক 1000 একক। উদাসীন বিন্দু* A-চুম্বকের উত্তর মেরু থেকে 4 cm দূরে অবস্থিত। A চুম্বকের চৌম্বকভ্রামক বার করো।

* দুটি চুম্বক ক্ষেত্রের দ্বারা কোন বিন্দুতে চৌম্বক প্রাবল্য শূন্য হলে এই বিন্দুকে উদাসীন বিন্দু বলে। 4.10 অনুচ্ছেদ দ্রষ্টব্য।



চিত্র 4.6

উঃ। চুম্বক দুটি ক্ষুদ্র বলে প্রত্যেকটিকে চৌম্বক দ্বিমেরু রূপে গণ্য করা যেতে পারে। O হল উদাসীন বিন্দু এবং এটা A-চুম্বকের উত্তর মেৰু হতে 4 cm দূরে। O উদাসীন বিন্দু হওয়ায়, ঐ বিন্দুতে A চুম্বকের দরুন প্রাবল্য B-চুম্বকের দরুন প্রাবল্যের সমান ও বিপরীত হবে। এখন, O বিন্দু চুম্বকদ্বয়ের



চিত্র 4.7

অক্ষের ওপর অবস্থিত বলে, ঐ বিন্দুতে A-চুম্বকের দরুন প্রাবল্য $F_A = \frac{2M_A d}{(d^2 - l^2)^2}$ (c.g.s

পদ্ধতি)।

এক্ষেত্রে, $M = M_A$; $d = 9$ cm; $l = 5$ cm; কাজেই,

$$F_A = \frac{2M_A \times 9}{(81 - 25)^2} \text{ dyne} = \frac{2M_A \times 9}{56 \times 56} \text{ dyne.}$$

অনুরূপভাবে B-চুম্বকের দরুন O-বিন্দুতে প্রাবল্য $F_B = \frac{2M_B \times 11}{(121 - 25)^2} \text{ dyne} = \frac{2M_B \times 11}{96 \times 96} \text{ dyne.}$

$$\therefore \frac{2M_A \times 9}{56 \times 56} = \frac{2 \times M_B \times 11}{96 \times 96} \quad \text{অথবা, } M_A = \frac{11 \times 49}{144 \times 9} \times M_B$$

$$\text{অথবা, } M_A = \frac{11 \times 49 \times 1000}{144 \times 9} = 415.9 \text{ cgs একক।}$$

২. 20 cm দীর্ঘ ও 30 একক মেৰুশক্তি বিশিষ্ট একটি চৌম্বক দ্বিমেরুর প্রতি প্রান্ত থেকে 30 cm দূরে একটি 40 একক মানের মেৰু অবস্থিত। তার ওপর প্রযুক্ত বলের মান নির্ণয় করো।

উঃ। 4.7 নং চিত্র দেখো। NS চৌম্বক দ্বিমেরু এবং P 40-একক মানের মেৰু। এখানে $PN = PS = 30$ cm; চৌম্বক দ্বিমেরু ভ্রামক $M = \text{দৈর্ঘ্য} \times \text{মেৰুশক্তি} = 20 \times 30$ একক।

$$P \text{ বিন্দুতে ক্ষেত্র প্রাবল্য } \frac{M}{(d^2 + l^2)^{\frac{3}{2}}} = \frac{20 \times 30}{(800 + 100)^{\frac{3}{2}}} \text{ [c.g.s পদ্ধতি]} \quad [d^2 = (30)^2 - (10)^2 = 800]$$

$$= \frac{20 \times 30}{30 \times 30 \times 30} = \frac{2}{90} \text{ Oe}$$

অতএব, P বিন্দুতে অবস্থিত 40 একক মানের মেৰুর ওপর প্রযুক্ত বল = ক্ষেত্রপ্রাবল্য \times মেৰুশক্তি

$$\frac{2}{90} \times 40 = 0.88 \text{ dyne}$$

4.6.

দুটি পারস্পরিক অভিলম্ব চৌম্বকক্ষেত্রে চৌম্বক দ্বিমেরু (Magnetic dipole in two cross magnetic fields):

মনে করো, দুটি পারস্পরিক অভিলম্ব চৌম্বক ক্ষেত্রের প্রাবল্য H এবং F (চিত্র 4.8)। এই দুই

অভিলম্ব ক্ষেত্রের মধ্যে যদি কোনো চৌম্বক দ্বিমেরু বা ক্ষুদ্র চুম্বকদণ্ড রাখা হয় তাহলে প্রমাণ করা যায় যে ঐ চুম্বক H প্রাবল্যের চৌম্বকক্ষেত্রের অভিমুখের সাথে যে কোণে (θ) আনত থাকবে তা নিম্নলিখিত ট্যানজেন্ট সূত্র হতে পাওয়া যায়: $\tan \theta = F/H$

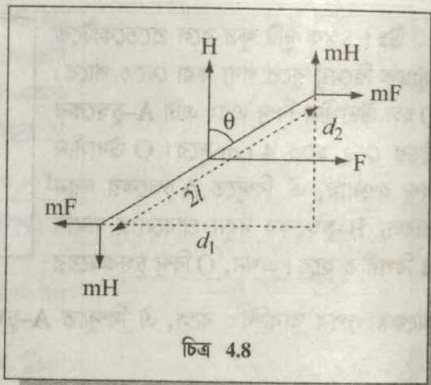
প্রমাণ : 4.8 নং চিত্রে যেমন দেখানো হয়েছে ঐরূপ ক্ষুদ্র চুম্বকের প্রত্যেক মেরু H এবং F চৌম্বক ক্ষেত্রের জন্য mH এবং mF বল অনুভব করবে ($m =$ চুম্বকের মেরুশক্তি)। ফলে চুম্বকের ওপর বিপরীতমুখী দুটি দ্বন্দ্ব (couple) ক্রিয়া করে চুম্বক দণ্ডকে বিপরীত দিকে ঘোরাবার চেষ্টা করবে। লক্ষ্য করো, mF দ্বন্দ্ব চুম্বককে ঘড়ির কাঁটার দিকে এবং mH দ্বন্দ্ব ঘড়ির কাঁটার বিপরীত দিকে ঘোরাবার চেষ্টা করছে। যখন এই দুই দ্বন্দ্বের ভ্রামক সমান হবে, তখন চুম্বকদণ্ড স্থির অবস্থানে আসবে। ধরো, স্থিরাবস্থায় চুম্বকটি H চৌম্বক ক্ষেত্রের অভিমুখের সাথে θ কোণ করল।

এখন, H চৌম্বকক্ষেত্রের জন্য দ্বন্দ্বের ভ্রামক $= mH \times d_1 = mH \times 2l \sin \theta$ [$2l =$ ক্ষুদ্র চুম্বকের কার্যকর দৈর্ঘ্য]।

এবং F চৌম্বকক্ষেত্রের জন্য দ্বন্দ্বের ভ্রামক $= mF \times d_2 = mF \times 2l \cos \theta$ ।

চুম্বক স্থিরাবস্থায় থাকলে $mF \times 2l \cos \theta = mH \times 2l \sin \theta$

অথবা, $\tan \theta = F/H$; একে ট্যানজেন্ট সূত্র (Tangent law) বলে।



4.7. ট্যানজেন্ট গ্যালভ্যানোমিটার (Tangent galvanometer) :

এই যন্ত্রে তড়িৎ প্রবাহের চুম্বকীয় ফলের প্রয়োগ করা হয়েছে। 4.9 নং চিত্রে একটি ট্যানজেন্ট গ্যালভ্যানোমিটারের ছবি দেখানো হল। কয়েক পাক অন্তরিত তামার তার একটি উল্লম্ব (vertical) কাঠের গোল ফ্রেমের খাঁজে জড়ানো থাকে। তারের দুই প্রান্ত একটি অনুভূমিক পাটাতন B-এর ওপর আটকানো বন্দনীর (T, T) সাথে যুক্ত। পাটাতনকে অনুভূমিক করার জন্য কয়েকটি স্ক্রু (S, S) দেওয়া আছে। তার জড়ানো ফ্রেম একটি উল্লম্ব অক্ষের (vertical axis) সাপেক্ষে আবর্তন করতে পারে। এই ফ্রেমের কেন্দ্রস্থলে বা কুণ্ডলীর কেন্দ্রস্থলে একটি অনুভূমিক বৃত্তাকার কাঠের ঢাকনায়ুক্ত চাকতি A লাগানো আছে। এই চাকতির কেন্দ্রে অথবা তারকুণ্ডলীর কেন্দ্রে একটি ছোটো চুম্বক-শলাকা আটকানো থাকে। চুম্বক-শলাকা বাধাহীনভাবে অনুভূমিক তলে আবর্তিত হতে পারে। এই চুম্বকের সাথে সমকোণে একটি লম্বা অ্যালুমিনিয়াম কাঁটা (pointer) আটকানো আছে। কাঁটা একটি অনুভূমিক স্কেলের ওপর ঘুরতে সক্ষম। স্কেলটি $0 - 90^\circ$ ভাগে চারটি পাদে (quadrant) বিভক্ত। কাঁটা স্কেলের ওপর যে কোণে আবর্তিত হবে চুম্বকের আবর্তন কোণও তাই হবে।



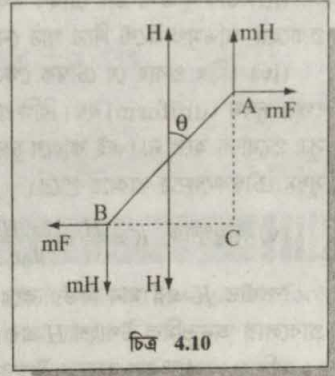
যন্ত্রের সমন্বয় (Adjustment of the instrument) : এই যন্ত্র ব্যবহার করতে হলে সর্বপ্রথম S,

S স্কু-গুলির সাহায্যে পাটাতন B অনুভূমিক করে নিতে হবে। তারপর ফ্রেমকে ঘুরিয়ে তার তল এবং চুম্বকের তল এক করতে হবে। এই অবস্থায় চুম্বক ও ফ্রেম চৌম্বক-মধ্যতলের অবস্থান নির্দেশ করবে। তখন কাঁটা স্কেলের $0^\circ - 0^\circ$ দাগের সাথে মিশে থাকবে। এইবার, T, T বন্ধনীদ্বয়ের সাথে তড়িৎ প্রবাহযুক্ত বর্তনী যোগ করলে গ্যালভানোমিটারের বৃত্তাকার তার দিয়ে তড়িৎ প্রবাহ হবে। আমরা দেখেছি, এর ফলে বৃত্তের কেন্দ্রের চতুর্দিকে কিছুস্থানে সমবল (uniform) চৌম্বকক্ষেত্রের সৃষ্টি হয়। চুম্বক N - S এই চৌম্বকক্ষেত্রের দ্বারা বিক্ষিপ্ত হবে। কাঁটার সাহায্যে স্কেল হতে বিক্ষেপ কোণ নির্ণয় করতে হবে।

মূলতত্ত্ব (Theory) : কুণ্ডলী দিয়ে তড়িৎপ্রবাহ পাঠালে একটি চৌম্বকক্ষেত্রের উদ্ভব হবে। এই ক্ষেত্রের অভিমুখ কুণ্ডলীর তলের অভিলম্ব হওয়ায়, এই ক্ষেত্র ভূ-চৌম্বক ক্ষেত্রেরও অভিলম্ব হবে। তখন চুম্বক-শলাকা চৌম্বক মধ্যতল থেকে বিচ্যুত হবে। সঙ্গে সঙ্গে ভূ-চৌম্বক ক্ষেত্র শলাকার ওপর ক্রিয়া করে শলাকাকে পুনরায় চৌম্বক মধ্যতলে ফিরিয়ে আনার চেষ্টা করবে। অর্থাৎ, চুম্বক-শলাকার ওপর যুগপৎ দুটি দ্বন্দ্ব বা কাপল (couple) ক্রিয়া করবে। এই দুইটি কাপলের অধীনে থেকে শলাকা একটি বিশেষ কোণে বিক্ষিপ্ত হবে।

মনে করো, AB শলাকা θ কোণে বিক্ষিপ্ত হল (4.10 নং চিত্র)।

ভূ-চৌম্বক ক্ষেত্রের অনুভূমিক প্রাবল্য H , তড়িৎ প্রবাহের দরুন চৌম্বক ক্ষেত্রের প্রাবল্য F এবং শলাকার মেরুশক্তি m হলে শলাকার ওপর (mH, mH) এবং (mF, mF) দ্বন্দ্ব ক্রিয়া করবে (ছবি দেখো)। শলাকার স্থিরাবস্থায় এই দুই দ্বন্দ্বের ভ্রামক বা মোমেন্ট সমান হবে।



চিত্র 4.10

এখন বিক্ষেপকারী mF দ্বন্দ্বের ভ্রামক $= mF \times AC = mF \times AB \cos \theta$

আবার নিয়ন্ত্রণকারী mH দ্বন্দ্বের ভ্রামক $= mH \times BC = mH \times AB \sin \theta$

$\therefore mF \times AB \cos \theta = mH \times AB \sin \theta$ বা, $F = H \tan \theta$

এখন, কুণ্ডলীর পাক-সংখ্যা $= n$, প্রবাহমাত্রা $= i$ ampere. এবং কুণ্ডলীর ব্যাসার্ধ $= r$ হলে,

প্রমাণ করা যায় $F = \frac{\mu_0}{2} \cdot \frac{ni}{r}$ [3.6 অনুচ্ছেদ দেখো]।

$\therefore \frac{\mu_0}{2} \cdot \frac{ni}{r} = H \cdot \tan \theta$ অথবা, $i = \frac{H}{\frac{\mu_0}{2} \cdot \frac{n}{r}} \tan \theta$

অথবা, $i = \frac{H}{G} \tan \theta$ [$G = \frac{\mu_0}{2} \cdot \frac{n}{r}$ = গ্যালভানোমিটার ধ্রুবক]

$= K \cdot \tan \theta$ ampere [$K = \frac{H}{G}$ = লঘু গুণক [reduction factor]] ... (i)

সুতরাং লঘু গুণক K -এর মান জানা থাকলে এবং স্কেল হতে θ পাঠ করলে তড়িৎ প্রবাহের মাত্রা নির্ণয় করা যায়।

এই গ্যালভানোমিটারে যে তড়িৎ-প্রবাহ যায় তা বিক্ষেপ কোণের ট্যানজেন্টের সমানুপাতিক বলে এই গ্যালভানোমিটারকে ট্যানজেন্ট গ্যালভানোমিটার বলা হয়।

আলোচনা (Discussion) :

(i) $\tan \theta$ -র মান শূন্য হতে অসীম হতে পারে বলে ট্যানজেন্ট গ্যালভানোমিটার দ্বারা শূন্য হতে অসীম পর্যন্ত যে-কোনো মানের তড়িৎ প্রবাহ পরিমাপ করা যায়। কিন্তু কার্যত তা করা হয় না। প্রমাণ

করা যায় যে বিক্ষেপ $\theta = 45^\circ$ হলে, পরিমাপে ত্রুটি সর্বনিম্ন হয়। তাই, ট্যানজেন্ট গ্যালভানোমিটার ব্যবহার করতে হলে প্রবাহের মান এরূপ রাখা হয় যাতে বিক্ষেপ 45° -এর কাছাকাছি হয়। এই উদ্দেশ্যে একই যন্ত্রে অনেক প্রকার পাকযুক্ত তারকুণ্ডলী থাকে। প্রবাহ তীব্র হলে, কম পাকের কুণ্ডলী এবং প্রবাহ ক্ষীণ হলে বেশি পাকের কুণ্ডলী ব্যবহার করা হয়, যাতে বিক্ষেপ সর্বদা 45° -এর কাছাকাছি থাকে।

(ii) চুম্বক কাঁটার ঘূর্ণাঙ্ক বৃত্তাকার স্কেলের কেন্দ্রগত না হলে, উৎকেন্দ্রিক (eccentric) ভ্রম আসতে পারে। এই ভ্রম দূর করে নির্ভুল পাঠ নিতে গেলে, কাঁটার দুই প্রান্তের পাঠ নিয়ে গড় নির্ধারণ করতে হবে।

(iii) তার কুণ্ডলী ঠিক চৌম্বক মধ্যতলে না থাকলে, পাঠে যে ভ্রম আসতে পারে তা দূর করার জন্য প্রবাহের অভিমুখ উল্টে দিয়ে পাঠ নেওয়া উচিত।

(iv) তড়িৎ প্রবাহ যে চৌম্বক ক্ষেত্র সৃষ্টি করে, কুণ্ডলীর কেন্দ্রের চতুর্দিকে খুব অল্প স্থান ব্যাপী সেই ক্ষেত্র সুসম (uniform) হয়। বিক্ষিপ্ত অবস্থায় চুম্বক-শলাকা সুসম চৌম্বকক্ষেত্রে না থাকলে, ট্যানজেন্ট সূত্র প্রযোজ্য হবে না। এই কারণে চুম্বক-শলাকা খুব ছোটো নেওয়া হয়, যাতে তা সর্বদা স্বল্পস্থান ব্যাপী সুসম চৌম্বকক্ষেত্রে থাকতে পারে।

$$(v) \text{ লঘুগুণক } K = \frac{H}{G} = \frac{2r.H}{\mu_0 n}$$

স্পষ্টত K -এর মান নির্ভর করে (i) কুণ্ডলীর জ্যামিতিক আকার এবং (ii) পরীক্ষাথলে ভৌচৌম্বক প্রাবল্যের অনুভূমিক উপাংশ H -এর ওপর।

যদি $\theta = 45^\circ$ হয় তাহলে উপরোক্ত (i) নং সমীকরণ থেকে পাই $K = I$ অতএব, ট্যানজেন্ট গ্যালভানোমিটারের লঘুগুণক সংখ্যাগত ভাবে সেই প্রবাহমাত্রার সমান হবে যে প্রবাহমাত্রা কুণ্ডলীর 45° বিক্ষেপ সৃষ্টি করে।

□ EXAMPLES □

1. একটি ট্যানজেন্ট গ্যালভানোমিটারের পাক সংখ্যা 500 এবং তাদের গড় ব্যাসার্ধ 25 cm ; যখন গ্যালভানোমিটারের বিক্ষেপ 45° তখন প্রবাহমাত্রা কত? ($H = 0.36 \times 10^{-4}$ tesla)

$$\text{উঃ। } i = \frac{2r.H}{\mu_0 n} \cdot \tan \theta = \frac{2 \times (25 \times 10^{-2}) \times 0.36 \times 10^{-4}}{(4\pi \times 10^{-7}) \times 500} \times 1 = 0.028 \text{ A (প্রায়)}$$

2. একটি ট্যানজেন্ট গ্যালভানোমিটারের তারকুণ্ডলীর ব্যাস 15 cm এবং পাক সংখ্যা 50; এ কুণ্ডলীতে 0.1 A প্রবাহ গেলে, কুণ্ডলীর কেন্দ্রে চৌম্বক ক্ষেত্রের প্রাবল্য কত হবে? এ স্থানে ভৌচৌম্বক ক্ষেত্রের অনুভূমিক উপাংশ $B_H = 0.42 \times 10^{-4}$ T হলে গ্যালভানোমিটার বিক্ষেপ কত হবে?

$$\text{উঃ। কুণ্ডলীর কেন্দ্রে চৌম্বক ক্ষেত্রের প্রাবল্য } B = \frac{\mu_0}{2} \cdot \frac{ni}{r} \text{ টেসলা}$$

$$\text{এখন, } i = 0.1 \text{ A; } r = \frac{15}{2} = 7.5 \text{ cm} = 7.5 \times 10^{-2} \text{ m; } n = 50$$

$$\text{কাজেই, } B = \frac{4\pi \times 10^{-7} \times 50 \times 0.1}{2 \times 7.5 \times 10^{-2}} = 0.42 \times 10^{-4} \text{ tesla}$$

$$\text{আবার, } B = B_H \tan \theta \text{ অথবা, } \tan \theta = \frac{B}{B_H} = \frac{0.42 \times 10^{-4}}{0.42 \times 10^{-4}} = 1 \therefore \theta = 45^\circ$$

৩. শ্রেণি সমবায়ে আবদ্ধ দুটি ট্যানজেন্ট গ্যালভানোমিটারে একই প্রবাহমাত্রা পাঠানো হল। দুই গ্যালভানোমিটারেই সমান বিক্ষেপ সৃষ্টি হল। প্রথম গ্যালভানোমিটারের কুণ্ডলীতে 110 পাক এবং দ্বিতীয়টিতে 25 পাক থাকলে, তাদের ব্যাসার্ধদ্বয়ের তুলনা করো।

উঃ। গ্যালভানোমিটার দুটি শ্রেণি সমবায়ে থাকায় উভয়ের মধ্য দিয়ে একই প্রবাহ যাবে। এখন,

$$\text{আমরা জানি, } i = \frac{2 H \cdot r}{\mu_0 n} \cdot \tan \theta \quad [r = \text{কুণ্ডলীর ব্যাসার্ধ}]$$

এথেকে দেখা যায় যে অন্যান্য রাশিগুলি অপরিবর্তিত থাকলে $\frac{r}{n} = \text{ধ্রুবক}$ ।

$$\therefore \frac{r_1}{n_1} = \frac{r_2}{n_2} \text{ অথবা, } \frac{r_1}{r_2} = \frac{n_1}{n_2} = \frac{110}{25} = \frac{22}{5}$$

4.8. চৌম্বক বলরেখা (Magnetic lines of force):

কোনো চুম্বকের চতুর্দিকে যে চৌম্বকক্ষেত্রের উদ্ভব হয় সেই ক্ষেত্রে চৌম্বকবল (magnetic force) নির্দিষ্ট রেখা বরাবর ক্রিয়া করে। নিম্নলিখিত পরীক্ষা দ্বারা এটা বোঝা যাবে।

পরীক্ষা : জলপূর্ণ একটি পাত্রের ওপর একপাশে একটি দণ্ড-চুম্বক N-S রাখার ব্যবস্থা করো (4.11 নং চিত্র)। একটি চুম্বকিত লৌহশলাকা এক টুকরো কর্কের ভিতর ঢুকিয়ে জলে ভাসাও, যাতে শলাকা খাড়াভাবে ভাসতে পারে এবং শলাকার n-মেরু জলের ওপর এবং s-মেরু জলে নিমজ্জিত থাকে। এইবার উক্ত লৌহ শলাকাকে দণ্ড-চুম্বকের N-মেরুর নিকট নিয়ে ছেড়ে দিলে দেখা যাবে শলাকা আস্তে আস্তে একটি নির্দিষ্ট বক্রপথ অবলম্বন করে দণ্ড চুম্বকের S-মেরুর নিকট উপস্থিত হল (4.11 নং চিত্র)। যদি শলাকাকে বার বার একই স্থান থেকে ছাড়া হয় তবে তা একই পথে বার বার যাবে; কিন্তু বিভিন্ন স্থান থেকে ছাড়া হলে বিভিন্ন বক্রপথ অবলম্বন করে চলবে (চিত্রে কাটা কাটা রেখা দিয়ে দেখানো হয়েছে)। যদি শলাকার n-মেরু জলের মধ্যে এবং s-মেরু জলের উপরে রেখে শলাকাকে ভাসানো হয় তবে তা একই পথে যাবে কিন্তু তার অভিমুখ উল্টো হবে। এইরূপ হবার কারণ কী?



চিত্র 4.11

এর কারণ, শলাকার n-মেরু জলের উপরে থাকায় একই সঙ্গে দণ্ড-চুম্বকের N মেরু কর্তৃক বিকর্ষণ বল ও S-মেরু কর্তৃক আকর্ষণ বল অনুভব করে। তখন মেরুটি উক্ত বল দুটির লব্ধ (resultant) বলের অভিমুখে সরে যায়। নতুন অবস্থায় পুনরায় তার ওপর উক্ত দুই বল ক্রিয়া করায় লব্ধ বলের অভিমুখ পরিবর্তিত হয়। তাতে মেরুটি পুনরায় সরে যায়। এইভাবে ক্রমশ বক্রপথ অবলম্বন করে তা দণ্ড চুম্বকের S-মেরুর নিকট উপস্থিত হয়। এথেকে বোঝা যায়, চৌম্বকক্ষেত্রে চৌম্বকবল একটি নির্দিষ্ট বক্ররেখা বরাবর ক্রিয়া করে। উক্ত বক্ররেখাকে দণ্ড চুম্বকের বলরেখা বলা হয়।

পূর্বে বলা হয়েছে, n-মেরু এবং s-মেরু চৌম্বক বলরেখা বরাবর বিপরীত দিকে গমন করে। তাহলে বলরেখার অভিমুখ কোন্ দিকে ধরা হবে? সাধারণত উত্তর মেরু যেদিকে যায় তাকেই বলরেখার অভিমুখ বলে ধরা হয় এবং তিরচিহ্ন দ্বারা প্রকাশ করা হয় (4.11 নং চিত্র)। এই বলরেখা দণ্ড-চুম্বকের N-মেরু হতে শুরু হয় ও S-মেরুতে শেষ হয়।

সংজ্ঞা : কোনো চুম্বকের চৌম্বক বলরেখা বলতে এমন রেখা বুঝায় যে-রেখা বরাবর কোন সর্ববাহ্যমুক্ত (free) বিচ্ছিন্ন (isolated) N-মেরু গমন করে এবং উক্ত রেখার যে-কোনো বিন্দুতে স্পর্শক (tangent) টানলে উক্ত স্পর্শক ঐ বিন্দুতে লম্ব চৌম্বক বলের অভিমুখ নির্দেশ করে।

বলরেখা প্রসঙ্গে মনে রাখা দরকার যে, রেখাগুলি চুম্বকের N-মেরুতে শুরু হয় ও S-মেরুতে শেষ হয়। সাধারণত কোনো চৌম্বকক্ষেত্রের বিভিন্ন বিন্দুতে চৌম্বক প্রাবল্যের অভিমুখ বিভিন্ন হয় ; তাই চৌম্বক বলরেখা সাধারণভাবে বক্ররেখা। তবে চৌম্বকক্ষেত্র সুসম (uniform) হলে বলরেখাগুলি সমান্তরাল সরলরেখা হতে পারে। বলরেখা সম্পর্কে অবশ্যই মনে রাখতে হবে যে এই রেখাগুলির বাস্তবে কোনো অস্তিত্ব নেই ; এরা সম্পূর্ণরূপে কাল্পনিক। এইরূপ বলরেখার অস্তিত্ব কল্পনা করে নিলে, অনেক চৌম্বক ঘটনা সহজে ব্যাখ্যা করা যায়।

4.9. চৌম্বক বলরেখার ধর্ম (Properties of magnetic lines of force) :

বিভিন্ন চৌম্বক ঘটনাগুলি বলরেখার সাহায্যে ব্যাখ্যা করার জন্য বলরেখাতে নিম্নলিখিত ধর্মগুলি আরোপ করা হয়।

- (1) বলরেখা N-মেরুতে শুরু হয় এবং S-মেরুতে শেষ হয়।
- (2) টান করা স্থিতিস্থাপক সূতোর মতো প্রত্যেক বলরেখা তার দৈর্ঘ্য বরাবর সংকুচিত হবার চেষ্টা করে।
- (3) বলরেখাগুলি পার্শ্বভাবে (laterally) দৈর্ঘ্যের অভিলম্বে পরস্পরকে বিকর্ষণ করে।
- (4) দুটি বলরেখা পরস্পরকে ছেদ করবে না, কারণ, ছেদ করলে ছেদবিন্দু দিয়ে দুটি বলরেখার ওপর বিভিন্ন দিকে দুটি স্পর্শক টানা যাবে এবং স্পর্শক দুটির প্রত্যেকটি ছেদবিন্দুতে লম্ব বলের অভিমুখ নির্দেশ করবে। কিন্তু একই বিন্দুতে লম্ব বলের দুটি অভিমুখ থাকা সম্ভব নয়। কাজেই দুটি বলরেখা পরস্পরকে ছেদ করাও সম্ভব নয়।
- (5) একক শক্তির মেরু হতে শূন্য মাধ্যম 4π সংখ্যক বলরেখা নির্গত হয়।

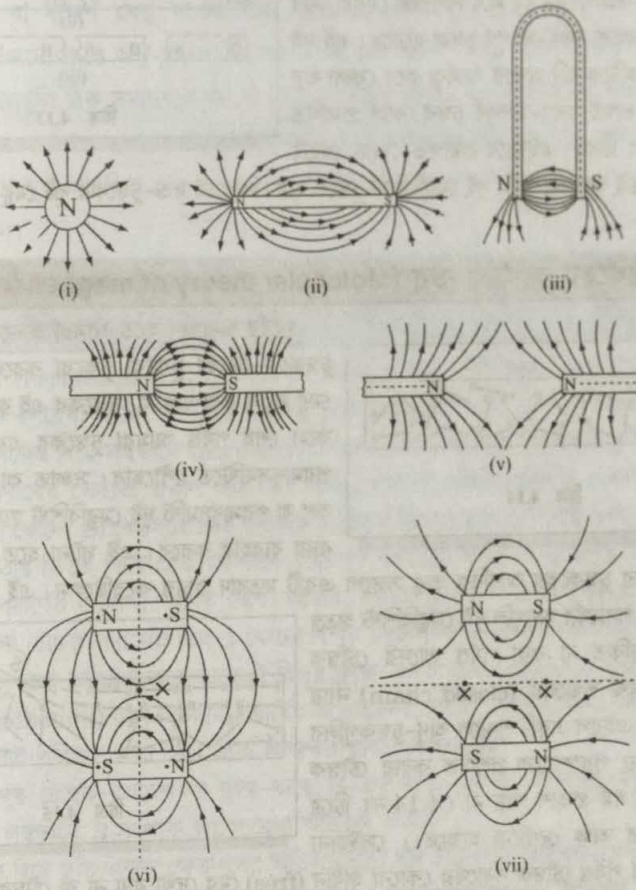
4.10. কয়েকটি স্থায়ী চুম্বকের বলরেখার চিত্র (Pictures of lines of force due to some permanent magnets) :

নিম্নে কয়েকটি স্থায়ী চুম্বক কীরূপ বলরেখা উৎপন্ন করবে তা দেখানো হল।
একটি মাত্র বিচ্ছিন্ন মেরু পাওয়া সম্ভব হলে তার জন্য যে বলরেখা উৎপন্ন হত তা 4.12 (i) নং চিত্রের মতো। বলরেখাগুলি মেরুকে কেন্দ্র করে অঙ্কিত বৃত্তের ব্যাসার্ধগুলির মতো।

4.12 (ii) নং চিত্রে একটি দণ্ড-চুম্বকের ও 4.12 (iii) নং চিত্রে একটি অশুদ্ধরাকৃতি চুম্বকের বলরেখাগুলি দেখানো হয়েছে।

দুটি বিয়ম-মেরু বা সম-মেরু মুখোমুখি রাখলে কীরূপ বলরেখা উৎপন্ন হবে তাহা 4.12 (iv) ও 4.12 (v) নং চিত্রে দেখানো হয়েছে।

চৌম্বক বলরেখাগুলির দৈর্ঘ্য বরাবর সংকুচিত হবার প্রবণতা থাকায় (iv) নং চিত্রের N-মেরু এবং S-মেরু পরস্পরকে আকর্ষণ করবে। আবার, বলরেখাগুলি পার্শ্বভাবে দৈর্ঘ্যের অভিলম্বে পরস্পর বিকর্ষণ করে বলে (v) নং চিত্রে দুটি N-মেরু পরস্পরকে বিকর্ষণ করবে। বলরেখা দ্বারা চৌম্বক আকর্ষণ ও বিকর্ষণ এইভাবে ব্যাখ্যা করা যায়। তাছাড়া লক্ষ্য করো যে (v) নং চিত্রে মেরুদ্বয়ের মাঝখানে বলরেখাহীন একটি ক্ষুদ্র অঞ্চল পাওয়া যায়। ঐ অঞ্চলের কোনো বিন্দুতে চৌম্বক প্রাবল্য শূন্য। ঐ বিন্দুকে উদাসীন বিন্দু (neutral point) বলে।



চিত্র 4.12

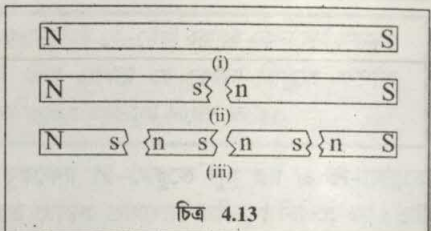
দুটি দণ্ড-চুম্বক পাশাপাশি (অর্থাৎ অক্ষদ্বয় সমান্তরাল) থাকলে বলরেখা কীরূপ হবে তা 4.13 (vi) এবং (vii) নং চিত্রে দেখানো হয়েছে। (vi) নং চিত্রে দণ্ড-চুম্বকদ্বয় পাশাপাশি কিন্তু সম মেরুদ্বয় মুখোমুখি ; (vii) নং চিত্রে দণ্ড-চুম্বকদ্বয় পাশাপাশি কিন্তু বিপরীত মেরুদ্বয় মুখোমুখি। X চিহ্ন দ্বারা উদাসীন বিন্দুর অবস্থান দেখানো হয়েছে।

4.11.

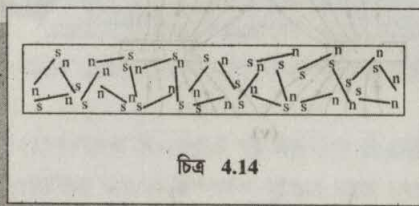
একটি মেরু পৃথক করা অসম্ভব (Isolation of a single pole is impossible) :

প্রাকৃতিক বা কৃত্রিম চুম্বকের দুটি মেরু থাকে। এই দুটি মেরু থেকে কোনো একটিকে বিচ্ছিন্ন করা সম্ভব নয়। একটি দণ্ড-চুম্বক নিয়ে সমান দুই টুকরো করলে আপাতদৃষ্টিতে মনে হয় মেরু বিচ্ছিন্ন হল। কিন্তু

প্রত্যেক টুকরাকে পৃথকভাবে চুম্বক-শলাকার দ্বারা পরীক্ষা করলে দেখা যাবে প্রত্যেক টুকরোতে দুটি করে মেরু আছে। অর্থাৎ, ভগ্নস্থানের দুই মুখে বিপরীত মেরুর উদ্ভব হয়ে প্রত্যেক টুকরো স্বয়ং-সম্পূর্ণ চুম্বক হয়েছে। এই দুই টুকরোর প্রত্যেকটিকে যদি আবার অর্ধেক করে ফেলা যায় তবে প্রত্যেক ভাগই স্বয়ং-সম্পূর্ণ চুম্বক বলে প্রমাণিত হবে (4.13 নং চিত্র)। এইভাবে ক্রমাগত ভেঙে ছোটো করলে সব সময়ই ভগ্ন অংশগুলি দুই মেরুবিশিষ্ট চুম্বকে হবে। কিছুতেই দণ্ড-চুম্বকের দুটি মেরু পৃথক করা যাবে না।

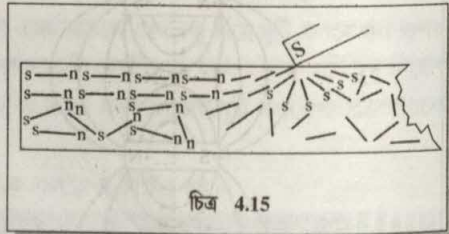


4.12. চুম্বকত্বের আণবিক তত্ত্ব (Molecular theory of magnetism)

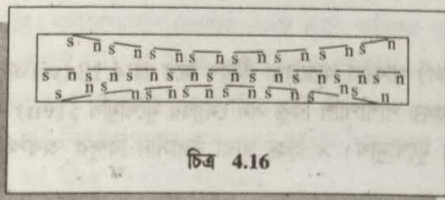


বিজ্ঞানী ওয়েবার চুম্বকত্বের আণবিক তত্ত্ব সম্বন্ধে একটি মতবাদ প্রচার করেছিলেন। এই তত্ত্ব অনুযায়ী :

(i) চৌম্বক পদার্থের অণুগুলি দুই মেরুবিশিষ্ট স্বতন্ত্র চুম্বক কিন্তু চুম্বকিত না করা পর্যন্ত তাদের চৌম্বক অক্ষগুলি বন্ধমুখ শৃঙ্খলের (closed chain) ন্যায় সজ্জিত থাকে। এইরূপ একটি শৃঙ্খলে অণু-চুম্বকগুলির বিপরীত মেরুদ্বয় পরস্পরকে প্রশমিত করায় চৌম্বক পদার্থে চৌম্বক ধর্ম প্রকাশ পায় না (4.14 নং চিত্রে অণু-চুম্বকগুলির অক্ষ দেখানো হয়েছে)। সেইজন্য চুম্বকিত না করা পর্যন্ত চৌম্বক পদার্থের কোনো স্বাধীন (free) মেরু দেখা যায় না বা চৌম্বক পদার্থ চুম্বকের ন্যায় ব্যবহার করে না।



কিন্তু যখন কোনো চৌম্বক পদার্থকে কোনো শক্তিশালী চুম্বকের মেরু (ধর, S-মেরু) দ্বারা ঘষা যায় তখন ঐ মেরুর প্রভাবে বন্ধমুখ শৃঙ্খলগুলি ভেঙে যায়। অণু-চুম্বকগুলির n মেরু ঘর্ষণকারী S-মেরু কর্তৃক আকর্ষিত হয়ে তার দিকে মুখ ঘুরিয়ে দাঁড়ায় (4.15 নং চিত্রে)। এইভাবে ঘর্ষণকারী S-মেরু দ্বারা বারবার চৌম্বক পদার্থটিকে ঘষলে ক্রমশ বেশি সংখ্যক অণু-চুম্বকের অক্ষ উপরোক্তভাবে সজ্জিত হয়ে পড়লে চৌম্বক পদার্থটি চুম্বকে পরিণত হয় (4.16 নং চিত্র)।



(ii) দণ্ডের মাঝখানে চৌম্বক ধর্ম থাকে না কেন?

চৌম্বক পদার্থটির দৈর্ঘ্যের মাঝামাঝি জায়গায় অণু-চুম্বকগুলির বিপরীত মেরু মুখোমুখি থাকায় তারা পরস্পরের প্রভাব নষ্ট করে দেয়। তাই দণ্ডের মাঝখানে কোনো চৌম্বক ধর্ম দেখা যায় না। শুধু দুই

প্রান্তে মেরুগুলি একই ধর্মাবলম্বী বলে নিজেদের প্রভাব অক্ষুণ্ণ রাখে এবং দুই প্রান্তদেশে বিপরীত মেরু সৃষ্টি করে।

(iii) উত্তর বা দক্ষিণ মেরু দণ্ডের ঠিক প্রান্তে অবস্থিত নয় কেন?

দণ্ডের যে-কোনো প্রান্তে অণু-চুম্বকগুলির সমমেরু থাকায় তাদের ভিতর পারস্পরিক বিকর্ষণ বল ক্রিয়া করে। ফলে শৃঙ্খলগুলি ঠিক সমান্তরাল হয় না; প্রান্তের দিকে বেকে যায়। এই কারণে দণ্ড চুম্বকের মেরু দণ্ডের ঠিক প্রান্তে অবস্থিত হয় না, প্রান্তের কাছাকাছি কোনো বিন্দুতে অবস্থিত হয়। তাছাড়া প্রত্যেক দুই প্রান্তে একটি করে মুক্ত আণবিক মেরু থাকায় বোঝা যায় যে, চুম্বকের মোট মুক্ত N-মেরু এবং S-মেরু পরস্পরের সমান।

4.13. চৌম্বক পদার্থের কয়েকটি বিশেষ ধর্ম (Some special properties of a magnetic substance):

(i) ভেদ্যতা (Permeability): চৌম্বকক্ষেত্রে কোনো চৌম্বক পদার্থ রাখলে ঐ পদার্থটি রাখার পূর্বে বায়ুতে যে কয়টি বলরেখা থাকে পদার্থটি রাখার পর তার ভিতর দিয়ে বেশি সংখ্যক বলরেখা যায়। বায়ুর তুলনায় প্রতি বর্গক্ষেত্রে দিয়ে লম্বভাবে (normally) কোনো চৌম্বক পদার্থের ভিতর কতগুণ বলরেখা যাচ্ছে তা দিয়ে উক্ত পদার্থের ভেদ্যতা প্রকাশ করা হয়। যেমন, কোনো চৌম্বক পদার্থের ভেদ্যতা 100 বললে তা দিয়ে উক্ত পদার্থের ভেদ্যতা প্রকাশ করা হয়। যেমন, কোনো চৌম্বক পদার্থের ভেদ্যতা 100 বললে তা দিয়ে উক্ত পদার্থের ভেদ্যতা প্রকাশ করা হয়। যেমন, কোনো চৌম্বক পদার্থের ভেদ্যতা 100 বললে তা দিয়ে উক্ত পদার্থের ভেদ্যতা প্রকাশ করা হয়।

এখন কোনো চৌম্বক পদার্থের ভিতরে কোনো বিন্দুর চতুর্দিকস্থ একক ক্ষেত্রফল দিয়ে লম্বভাবে যত সংখ্যক আবেশ-রেখা অতিক্রম করে তাকে ঐ বিন্দুর ফ্লাক্স-ঘনত্ব (flux density) বা চৌম্বক আবেশ (magnetic induction) বলে। চৌম্বক পদার্থের অভ্যন্তরস্থ কোনো বিন্দুর চৌম্বক-আবেশ সাধারণত ফ্লাক্স-ঘনত্ব দ্বারাই পরিমাপ করা হয়। একে B অক্ষর দ্বারা বুঝানো হয়।

কোনো বিন্দুর চৌম্বক-আবেশ বা ফ্লাক্স-ঘনত্ব B -এর অর্থ এই যে ঐ বিন্দুর চতুর্দিকস্থ একক ক্ষেত্রফল দিয়ে লম্বভাবে B সংখ্যক আবেশরেখা অতিক্রম করছে।

বস্তুর ভিতর দিয়ে প্রতি একক ক্ষেত্রফলের অভিলম্বভাবে যদি B সংখ্যক আবেশ-রেখা অতিক্রম করে এবং বস্তুকে সরিয়ে নিলে বায়ুর ভিতর দিয়ে ওইভাবে যদি H সংখ্যক বলরেখা অতিক্রম করে, তবে ওই

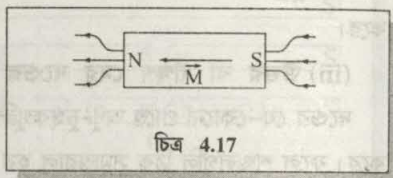
$$\text{বস্তুর চৌম্বক ভেদ্যতা } \mu = \frac{B}{H} = \frac{\text{বস্তুর অভ্যন্তরস্থ ফ্লাক্স-ঘনত্ব}}{\text{বহিষ্ঠ চৌম্বক ক্ষেত্রে প্রাবল্য}}$$

$$\therefore B = \mu H$$

এখন $H = 1$ হলে, $\mu = B$; অর্থাৎ একক প্রাবল্যবিশিষ্ট চৌম্বকক্ষেত্রে কোনো চৌম্বক পদার্থ রাখলে তার ভিতর যে ফ্লাক্সঘনত্ব বা চৌম্বকআবেশ সৃষ্টি হয়, তাকে ঐ পদার্থের ভেদ্যতা বলা হয়।

স্পষ্টত শূন্য মাধ্যমে $\mu = 1$ এবং $B = H$; কিন্তু মনে রাখা দরকার যে, শূন্য মাধ্যমে B এবং H সংখ্যাগতভাবে সমান হলেও তাদের মাত্রা (dimension) ও একক সম্পূর্ণ পৃথক। শূন্য মাধ্যমে কোনো বিন্দুতে চৌম্বক আবেশ B বলতে আমরা বুঝি ঐ বিন্দুতে চৌম্বক ফ্লাক্স-ঘনত্ব বা প্রতি একক ক্ষেত্রফলের ভিতর দিয়ে অতিক্রান্ত মোট চৌম্বক বলরেখা কিন্তু ঐ বিন্দুতে চৌম্বক ক্ষেত্রের প্রাবল্য H বলতে বুঝি ঐ বিন্দুতে একটি একক N-মেরুর ওপর প্রযুক্ত বল। H মাধ্যম নিরপেক্ষ কিন্তু B মাধ্যমের ধর্মের ওপর নির্ভরশীল। এসু-আই পদ্ধতিতে B -এর একক টেসলা (Tesla) এবং H -এর একক অ্যাম্পিয়ার/মিটার (Am^{-1})।

(ii) চুম্বকনের পরিমাত্রা (Intensity of magnetisation) কোনো চৌম্বক পদার্থকে চৌম্বক ক্ষেত্রে রাখলে, চৌম্বক পদার্থে চৌম্বক দ্বিমেরু ডামকের (magnetic dipole moment) উদ্ভব হয়। এই ডামক $\rightarrow M$ এর অভিমুখ দক্ষিণমেরু থেকে উত্তর মেরুর দিকে [চিত্র 4.17] পদার্থের একক আয়তনে উদ্ভূত দ্বিমেরু ডামক-কে এ



পদার্থের চুম্বকনের পরিমাত্রা (I) বলা হয়। অর্থাৎ, $I = \frac{M}{V}$

(V পদার্থের আয়তন) যদি পদার্থের মেরুশক্তি হয় m এবং চৌম্বক দৈর্ঘ্য হয় $2l$ তাহলে, $I = \frac{m \times 2l}{\alpha \times 2l} =$

$$\frac{m}{\alpha}$$

[α = পদার্থের প্রস্থচ্ছেদ] অতএব, চৌম্বক পদার্থকে চৌম্বক ক্ষেত্রে রাখলে, পদার্থের প্রতি একক ক্ষেত্রফলে যে মেরু শক্তির উদ্ভব হয়, তাকে চুম্বকনের পরিমাত্রা বলা যেতে পারে।

(iii) চৌম্বক প্রবণতা বা গ্রাহিতা (Susceptibility) : চৌম্বক পদার্থের প্রবণতা বলতে সাধারণভাবে আমরা বুঝি যে, কত সহজে ঐ পদার্থে চুম্বকত্ব আবিষ্ট করা যায়। কোনো চৌম্বক পদার্থকে চৌম্বক ক্ষেত্রে রাখলে তাতে যে চুম্বকত্ব আবিষ্ট হবে তা প্রথমত উক্ত পদার্থ এবং দ্বিতীয়ত চৌম্বকক্ষেত্রের ওপর নির্ভর করে। কিন্তু নির্দিষ্ট চৌম্বকক্ষেত্রে আবিষ্ট চুম্বকত্ব পদার্থভেদে বিভিন্ন হবে। পরীক্ষা করে দেখা গেছে যে, নির্দিষ্ট চৌম্বকক্ষেত্রে স্থাপিত নরম লোহার আবিষ্ট চুম্বকত্ব ইম্পাত অপেক্ষা অনেক বেশি। এইজন্য বলা হয়, নরম লোহার চৌম্বক প্রবণতা ইম্পাত অপেক্ষা বেশি।

একটি নরম লোহার দণ্ডকে চুম্বক শলাকার যে-কোনো মেরুর নিকট আনলে দণ্ডে চুম্বকত্ব আবিষ্ট হবে এবং দণ্ড ও শলাকার ভিতর আকর্ষণের জন্য দণ্ডের দিকে চুম্বকশলাকার বিক্ষেপ হবে। কিন্তু নরম লোহার দণ্ডের পরিবর্তে সমান সাইজের ইম্পাত দণ্ড আনলে চুম্বক শলাকার বিক্ষেপ অপেক্ষাকৃত কম হবে। এথেকে বোঝা যায়, নরম লোহার আবিষ্ট চুম্বকত্বের মাত্রা (অর্থাৎ, চৌম্বক প্রবণতা) ইম্পাত অপেক্ষা বেশি। মিউমেটাল (73% নিকেল, 22% লোহা, 5% তামা) নামক একপ্রকার সংকর ধাতুর চৌম্বকপ্রবণতা খুব বেশি।

H প্রাবল্যের সমবলসম্পন্ন কোনো চৌম্বকক্ষেত্রে কোনো চৌম্বক পদার্থ রাখলে (H ক্ষেত্রের বলরেখার সমান্তরালে), যদি ঐ পদার্থের প্রতি একক প্রস্থচ্ছেদে I মেরুশক্তির মেরু উৎপন্ন হয়, অর্থাৎ চুম্বকনের পরিমাত্রা I হয় তবে $I \propto H$ অথবা $I = KH$; K একটি ধ্রুবসংখ্যা, একে বলা হয় চৌম্বক প্রবণতা।

অতএব $K = \frac{I}{H}$; যদি $H = I$ হয় তবে $K = I$;

সুতরাং একক প্রাবল্যবিশিষ্ট চৌম্বক ক্ষেত্রে কোনো চৌম্বক পদার্থ রাখলে তাতে যে চুম্বকনের পরিমাত্রা সৃষ্টি হয় তাকে ঐ পদার্থের চৌম্বকগ্রাহিতা বা চৌম্বক প্রবণতা বলা হয়।

● চৌম্বক ভেদ্যতা এবং চৌম্বক প্রবণতার পারস্পরিক সম্পর্ক : চৌম্বক আবেশ B এবং চৌম্বক পদার্থের চুম্বকনের পরিমাত্রা I -এর ভিতর নিকট সম্পর্ক আছে।

কোনো চৌম্বক পদার্থকে H প্রাবল্যের চৌম্বকক্ষেত্রে রাখলে, পদার্থটি চৌম্বকত্ব লাভ করে। পদার্থের অভ্যন্তরে চৌম্বক ক্ষেত্র হবে বাইরে থেকে প্রযুক্ত চৌম্বক ক্ষেত্র H এবং আবেশের জন্য উৎপন্ন

চৌম্বকত্ব I -এর সমষ্টি। অর্থাৎ, লব্ধি চৌম্বক ক্ষেত্র $\frac{\vec{B}}{\mu_0} = \vec{H} + \vec{I}$ [μ_0 = শূন্য মাধ্যমের ভেদ্যতা]

অথবা, $\vec{B} = \mu_0 (\vec{H} + \vec{I})$

$$\begin{aligned}
 &= \mu_0 (H + K\vec{H}) \\
 &= \mu_0(1 + K)\vec{H} \\
 &= \mu\vec{H} \text{ [যেখানে, } \mu = \mu_0(1 + K)\text{]}
 \end{aligned}$$

আবার, $\frac{\mu_0}{\mu} = \mu_r = 1 + K$; ধ্রুবক μ_r কে বলা হয় পদার্থের আপেক্ষিক ভেদ্যতা।

(iii) ধারণক্ষমতা (Retentivity) এবং সহনশীলতা (Coercivity) : দুটি একই আকার ও সাইজের নরম লোহা ও ইস্পাতের দণ্ড নিয়ে একই চৌম্বক বল (magnetising force) দ্বারা চুম্বকিত করে ঐ চৌম্বক বল অপসারণ করলে দেখা যায়, বিশেষ অবস্থায় চৌম্বক বল অপসারণ সত্ত্বেও ইস্পাতের ন্যায় নরম লোহা প্রায় পূর্ণ চুম্বকত্ব ধরে রেখেছে। পরীক্ষা করে দেখা যায় উভয় দণ্ডই প্রায় শতকরা 90 ভাগ চুম্বকত্ব বজায় রাখে। কিন্তু দণ্ড দুটিকে একটু নাড়াচাড়া করলে সঙ্গে সঙ্গে নরম লোহার প্রায় সব চুম্বকত্বই অন্তর্হিত হয় কিন্তু ইস্পাতের চুম্বকত্বের বিশেষ পরিবর্তন হয় না। বলা হয় ইস্পাত এবং লোহার ধারণক্ষমতা প্রায় সমান কিন্তু নরম লোহার সহনশীলতা অনেক কম। কারণ দুটি পদার্থই বিশেষ অবস্থায় প্রায় সমপরিমাণ চুম্বকত্ব ধরে রাখতে সক্ষম ; কিন্তু চুম্বকত্ব দূর করার জন্য বল প্রয়োগ করলে নরম লোহার চৌম্বকত্ব অতি সহজে অপসারিত হয়।

সংজ্ঞা : কোনো চৌম্বক পদার্থকে চুম্বকন ক্ষেত্র হতে সরিয়ে নিলেও যে ধর্মের জন্য ঐ পদার্থ কিছু পরিমাণ চুম্বকত্ব ধরে রাখতে পারে তাকে ঐ পদার্থের ধারণ ক্ষমতা বলে।

যে ধর্মের জন্য কোনো চৌম্বক পদার্থ বাহ্যিক নিগ্রহ সত্ত্বেও আবিষ্ট চুম্বকত্ব ধরে রাখতে পারে তাকে ঐ পদার্থের সহনশীলতা বলে।

বিভিন্ন যন্ত্রপাতিতে ব্যবহার করার জন্য স্থায়ী ও অস্থায়ী চুম্বক তৈরি করার সময় চৌম্বক পদার্থের উপরিউক্ত বিশেষ ধর্মগুলি বিচার করা হয় এবং সেই অনুযায়ী লোহা, ইস্পাত বা বিভিন্ন সংকর ধাতুকে কাজে লাগানো হয়। যেমন, স্থায়ী চুম্বক তৈরি করতে হলে তার উপাদানের ধারণক্ষমতা ও সহনশীলতা উচ্চ হওয়া প্রয়োজন। তাই স্থায়ী চুম্বক নির্মাণে সর্বদা টাংস্টেন স্টিল, কোবাল্ট স্টিল, অ্যালনিকো, টিকোনাল (টিটানিয়াম, কোবাল্ট ও অ্যালুমিনিয়ামের সংমিশ্রণে তৈরি) প্রভৃতি ব্যবহার করা হয়। আবার, তড়িৎ-চুম্বক তৈরি করার উপযুক্ত উপাদান হতে হলে তার ধারণক্ষমতা ও সহনশীলতা খুব কম হওয়া প্রয়োজন। তাই তড়িৎ-চুম্বক নির্মাণে সর্বদা নরম লোহা বা স্ট্যালয় (stalloy)—যা 5% সিলিকন এবং 95% লোহার দ্বারা তৈরি—ব্যবহৃত হয়। ট্রান্সফরমার ‘কোর’ (core) নির্মাণে এব্রুপ উপাদান এবং 95% লোহার দ্বারা তৈরি—ব্যবহৃত হয়। ট্রান্সফরমার ‘কোর’ (core) নির্মাণে এব্রুপ উপাদান এবং 95% লোহার দ্বারা তৈরি—ব্যবহৃত হয়। ট্রান্সফরমার ‘কোর’ (core) নির্মাণে এব্রুপ উপাদান এবং 95% লোহার দ্বারা তৈরি—ব্যবহৃত হয়। ট্রান্সফরমার ‘কোর’ (core) নির্মাণে এব্রুপ উপাদান এবং 95% লোহার দ্বারা তৈরি—ব্যবহৃত হয়। ট্রান্সফরমার ‘কোর’ (core) নির্মাণে এব্রুপ উপাদান এবং 95% লোহার দ্বারা তৈরি—ব্যবহৃত হয়।

□ EXAMPLES □

1. একটি ইস্পাতদণ্ডকে 7.6 Oe চৌম্বকক্ষেত্রে দৈর্ঘ্য বরাবর রাখা আছে। দণ্ডের দৈর্ঘ্য 23 cm প্রস্থ 1.2 cm এবং বেধ 0.5 cm। যদি ইস্পাতের ভেদ্যতা 640 হয়, তবে আবিষ্ট ইস্পাত দণ্ডের চৌম্বক ভ্রামক কত হবে?

উঃ। আবিষ্ট চুম্বকনের পরিমাত্রা I , দণ্ডের চৌম্বক ভ্রামক M এবং দণ্ডের আয়তন V হলে

$$I = \frac{M}{V} \text{ . আবার, } K \text{ এবং } \mu \text{ ইস্পাতের চৌম্বক প্রবণতা এবং চৌম্বক ভেদ্যতা হলে, } K = \frac{I}{H} \text{ এবং } \mu = 1 + 4\pi K. (\text{cgs})$$

এই সম্পর্কগুলি হতে পাই, $\mu - 1 = 4\pi \frac{I}{H}$ অথবা $I = \frac{H}{4\pi} (\mu - 1)$

এখানে $H = 7.4 \text{ Oe}$ এবং $\mu = 640$.

অতএব, $I = \frac{7.5}{4\pi} (640 - 1) = 381.57 \text{ unit}$ (প্রায়)।

∴ চৌম্বকভ্রামক $M = I \times V = 381.57 \times 23 \times 1.2 \times 0.5 = 5265.67 \text{ cgs unit}$ (প্রায়)।

২. একটি তড়িৎদ্বাহী টরয়েডের অভ্যন্তরে পরিপূর্ণভাবে অ্যালুমিনিয়াম প্রবেশ করালে, চৌম্বকক্ষেত্র B -এর শতকরা বৃদ্ধি কত হবে নির্ণয় কর। অ্যালুমিনিয়ামের চৌম্বক প্রবণতা = 2.0×10^{-5}

উঃ। টরয়েডের অভ্যন্তর বায়ুপূর্ণ থাকলে, $B_0 = \mu_0 H$

টরয়েডের অভ্যন্তর অ্যালুমিনিয়াম দ্বারা ভর্তি করলে, চৌম্বক ক্ষেত্র হবে $B = \mu H = \mu_0 (1 + K) H$

∴ চৌম্বক ক্ষেত্রের বৃদ্ধি = $B - B_0 = \mu_0 K H$

$$\begin{aligned} \text{চৌম্বক ক্ষেত্রের শতকরা বৃদ্ধি} &= \frac{B - B_0}{B_0} \times 100 = \frac{\mu_0 K H}{\mu_0 H} \times 100 \\ &= K \times 100 = 2.0 \times 10^{-5} \times 100 = 2 \times 10^{-3} \% \end{aligned}$$

4.14.

পর্যাক্ষিক, তিরস্চৌম্বক এবং অয়স্চৌম্বক পদার্থ (Paramagnetic, dia-magnetic and ferro-magnetic substances) :

শক্তিশালী চুম্বক নিয়ে পরীক্ষা করে ফারাডে দেখতে পান যে কিছু কিছু পদার্থ চুম্বক দ্বারা আকৃষ্ট হয় আবার, কিছু কিছু বিকর্ষিত হয়। চুম্বক যে-সকল পদার্থকে আকর্ষণ করে তাদের বলা হয় পর্যাক্ষিক পদার্থ এবং যে সকল পদার্থকে বিকর্ষণ করে তাদের বলা হয় তিরস্চৌম্বক পদার্থ। যেমন, লোহা, অ্যালুমিনিয়াম, নিকেল, কোবাল্ট ইত্যাদি চুম্বক দ্বারা আকৃষ্ট হয়; কাজেই তারা পর্যাক্ষিক পদার্থ। আবার, বিসমাথ, অ্যান্টিমনি, দস্তা প্রভৃতি চুম্বক দ্বারা বিকর্ষিত হয়। সুতরাং তারা তিরস্চৌম্বক পদার্থ।

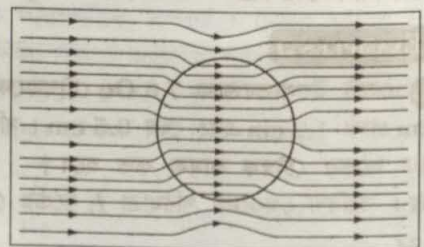
পর্যাক্ষিক পদার্থের ভিতর আবার কয়েকটি পদার্থ চুম্বক কর্তৃক বিশেষভাবে আকৃষ্ট হয়। এদের বলা হয় অয়স্চৌম্বক পদার্থ। যেমন, নরম লোহা, ইম্পাত ইত্যাদি।

নিম্নে এদের বিভিন্ন ধর্ম সম্বন্ধে আলোচনা করা হল।

(ক) পর্যাক্ষিক পদার্থ : পর্যাক্ষিক পদার্থের চৌম্বক ভেদ্যতা 1 হতে 1.001-এর মধ্যে এবং চৌম্বকগ্রাহিতা ধনাত্মক কিন্তু নিম্নমানের। কোনো পর্যাক্ষিক গোলককে চৌম্বক ক্ষেত্রে রাখলে বলরেখাগুলি বেশি পরিমাণে ঐ গোলকের ভিতর দিয়ে যেতে চেষ্টা করে। ফলে ঐ পদার্থের মধ্যে বলরেখাগুলি ঘনতরভাবে সন্নিবিষ্ট হয় [চিত্র 4.18]। পর্যাক্ষিক পদার্থে চৌম্বক আবেশ B -এর মান বহিস্থ চৌম্বক ক্ষেত্রের প্রাবল্য H অপেক্ষা কিছু বেশি হয়। তাই

$\mu \left(= \frac{B}{H} \right)$ -এর মান 1-এর কিছু বেশি এবং

চৌম্বক গ্রাহিতা K ($\mu = 1 + 4\pi K$) ধনাত্মক হয়। অসম চৌম্বক ক্ষেত্রে স্থাপন করলে, এরা



চিত্র 4.18

ক্ষেত্রের দুর্বলতর অংশ হতে প্রবলতর অংশে গমন করে এবং শক্তিশালী চুম্বক দ্বারা দুর্বলভাবে আকর্ষিত হয়। পরাচৌম্বক পদার্থের উদাহরণস্বরূপ অ্যালুমিনিয়াম, ম্যাঙ্গানিজ, প্লাটিনাম, ক্রোমিয়াম, লৌহ ও অক্সিজেন ঘটিত লবণের দ্রবণ ইত্যাদির নাম করা যেতে পারে।

তাপমাত্রা বৃদ্ধি করলে পরাচৌম্বক পদার্থের ভেদ্যতা এবং গ্রাহিতা - উভয়ই হ্রাস পায়।

বিশিষ্ট বিজ্ঞানী পিয়ের কুরী পরীক্ষার সাহায্যে প্রমাণ করেছিলেন যে পরাচৌম্বক পদার্থের প্রতি একক

ভরে চৌম্বক গ্রাহিতা λ ($\lambda = K/p$) পরম তাপমাত্রার ব্যস্তানুপাতিক। তাই লেখা যায়, $\lambda = \frac{C}{T}$;

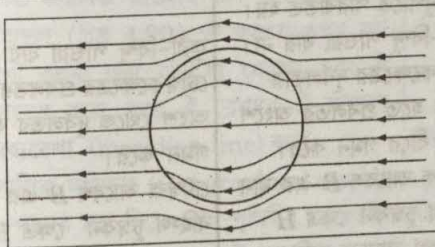
C একটি ধ্রুবক। এই সম্পর্কে কুরী সূত্র (Curie law) বলা হয়। পরীক্ষার ফলে দেখা গেছে যে কুরী-সূত্র কেবলমাত্র পরাচৌম্বক গ্যাসের বেলায় প্রযোজ্য। পরাচৌম্বক কঠিন পদার্থের বেলায় যে সূত্র প্রযোজ্য

তাকে বলা হয় কুরী-ভাইস (Curi-Weiss) সূত্র। এই সূত্রানুযায়ী, $\lambda = \frac{C}{T - \theta}$; θ একটি বিশেষ

তাপমাত্রা যাকে ঐ পরাচৌম্বক পদার্থের কুরী-তাপমাত্রা বলা হয়। প্রায় সকল পরাচৌম্বক পদার্থের বেলায় কুরী-তাপমাত্রার মান খুব কম।

(খ) তিরশ্চৌম্বক পদার্থঃ তিরশ্চৌম্বক পদার্থের চৌম্বক ভেদ্যতা নিম্নমানের এবং চৌম্বকগ্রাহিতা ঋণাত্মক। অসম চৌম্বকক্ষেত্রে তিরশ্চৌম্বক পদার্থ ঐ ক্ষেত্রের প্রবল অংশ থেকে দুর্বল অংশে গমন করে এবং চুম্বক দ্বারা ক্ষীণভাবে বিকর্ষিত হয়। তিরশ্চৌম্বক পদার্থের চুম্বকত্ব তাপমাত্রার ওপর নির্ভর করে না। বিসমাথ, অ্যান্টিমনি, ফসফরাস, তামা, অ্যালকোহল, পারদ, সোনা, হাইড্রোজেন, জল ইত্যাদি তিরশ্চৌম্বক পদার্থ। প্রকৃতপক্ষে পরাচৌম্বক ও অয়শ্চৌম্বক পদার্থ ছাড়া অন্য সকল পদার্থই তিরশ্চৌম্বকধর্মী।

চৌম্বকক্ষেত্রে তিরশ্চৌম্বক পদার্থের গোলক স্থাপন করলে বলরেখাগুলি ঐ পদার্থকে এড়িয়ে যাবার চেষ্টা



চিত্র 4.19

করে ; ফলে পদার্থের ভিতর বলরেখাগুলির ঘনত্ব হ্রাস পায় অর্থাৎ চৌম্বক আবেশ B -এর মান বহিস্থ চৌম্বক ক্ষেত্রের প্রাবল্য H অপেক্ষা কিছু কম হয় (চিত্র 4.19)। ফলে, μ ($= B/H$)-এর মান 1-এর কিছু কম এবং চৌম্বকগ্রাহিতা K ঋণাত্মক হয়।

অয়শ্চৌম্বক পদার্থঃ অয়শ্চৌম্বক পদার্থের চৌম্বক ভেদ্যতা খুব উচ্চমানের (1 থেকে 10^6 পর্যন্ত) এবং

চৌম্বকগ্রাহিতা ধনাত্মক ও উচ্চমানের। অয়শ্চৌম্বক পদার্থ চুম্বক দ্বারা বিশেষ ভাবে আকৃষ্ট হয় এবং তাকে শক্তিশালী চুম্বকে পরিণত করা যায়। অয়শ্চৌম্বক পদার্থগুলির চৌম্বক আচরণ পরাচৌম্বক পদার্থগুলির আচরণের তুলনায় বেশি প্রকট বলে তাদের একটি পৃথক শ্রেণিতে অন্তর্ভুক্ত করা হয়েছে। উদাহরণস্বরূপ, লোহা, ইম্পাত, কোবাল্ট, নিকেল এবং তাদের সংকর ধাতুর নাম করা যেতে পারে। সকল অয়শ্চৌম্বক পদার্থই কেলাসাকার কঠিন পদার্থ। তরল বা গ্যাসের কোনো নির্দিষ্ট আকার না থাকায়, তরল ও গ্যাসীয় পদার্থ অয়শ্চৌম্বক হয় না।

পরাচৌম্বক পদার্থের সকল ধর্মাবলিই অয়শ্চৌম্বক পদার্থে বর্তমান এবং বেশি মাত্রায় বর্তমান। পরাচৌম্বক পদার্থের ন্যায় অয়শ্চৌম্বক পদার্থের চৌম্বকগ্রাহিতা এবং ভেদ্যতা পরম তাপমাত্রার সাথে পরিবর্তিত হয় বটে, তবে বিশেষ কোনো সূত্রানুযায়ী নয়। তাপমাত্রা বৃদ্ধি পেলে চৌম্বকগ্রাহিতা হ্রাস পায় এবং একটি সংকট তাপমাত্রায় অয়শ্চৌম্বক ধর্ম সম্পূর্ণরূপে লুপ্ত হয় ; তখন তা পরাচৌম্বক পদার্থে পরিণত হয়। ঐ সংকট তাপমাত্রাকে বলা হয় কুরী-বিন্দু (Curie point)। লৌহের কুরী-বিন্দু

প্রায় 770°C এবং কোবাল্টের 1100°C । কোনো অয়শ্চৌম্বক পদার্থকে পরাচৌম্বক পদার্থে পরিণত করার সহজ উপায় হল তাকে কুরী-বিন্দু অথবা তা থেকে বেশি তাপমাত্রায় উত্তপ্ত করা।

4.15. অয়শ্চৌম্বক, পরাচৌম্বক ও তিরশ্চৌম্বক পদার্থের তুলনা (Comparison between ferro- para- and dia-magnetic substances) :

অয়শ্চৌম্বক	পরাচৌম্বক	তিরশ্চৌম্বক
1. চুম্বক দ্বারা প্রবলভাবে আকর্ষিত হয়।	চুম্বক দ্বারা ক্ষীণভাবে আকর্ষিত হয়।	চুম্বক দ্বারা ক্ষীণভাবে বিকর্ষিত হয়।
2. চৌম্বক ভেদ্যতা উচ্চ মানের ($1 - 10^6$ পর্যন্ত)।	চৌম্বক ভেদ্যতা নিম্নমানের ($1-1.001$ পর্যন্ত)।	চৌম্বক ভেদ্যতা খুব নিম্নমানের (1 -এর কম)।
3. চৌম্বক গ্রাহিতা ধনাত্মক এবং উচ্চমানের।	চৌম্বক গ্রাহিতা ধনাত্মক এবং নিম্নমানের।	চৌম্বকগ্রাহিতা ঋণাত্মক ও নিম্নমানের।
4. চৌম্বকক্ষেত্রে রাখলে বলরেখাগুলি বেশি পরিমাণে পদার্থের ভিতর দিয়ে যেতে চায়।	চৌম্বকক্ষেত্রে রাখলে, বলরেখাগুলি সামান্য পরিমাণে পদার্থের ভিতর দিয়ে যেতে চায়।	চৌম্বকক্ষেত্রে রাখলে বলরেখাগুলি পদার্থকে এড়িয়ে যাবার চেষ্টা করে।
5. চৌম্বক গ্রাহিতা পরম তাপমাত্রার সাথে পরিবর্তিত হয়। এই পরিবর্তন কোনো সহজ সূত্র মেনে চলে না।	চৌম্বক গ্রাহিতা কুরী-সূত্র অথবা কুরী-ভাইস সূত্রানুযায়ী পরম তাপমাত্রার সাথে ব্যস্তানুপাতে পরিবর্তিত হয়।	চৌম্বক গ্রাহিতা তাপমাত্রার ওপর নির্ভর করে না।
6. কুরী-বিন্দু পাওয়া যায়।	কুরী-বিন্দু পাওয়া যায় না।	কুরী-বিন্দু পাওয়া যায় না।
7. চৌম্বকক্ষেত্রের দুর্বলতর অংশ হতে প্রবলতর অংশে দ্রুত গমন করে।	চৌম্বকক্ষেত্রের দুর্বলতার অংশ হতে প্রবলতর অংশে ধীরে ধীরে গমন করে।	চৌম্বকক্ষেত্রের প্রবলতর অংশ থেকে দুর্বলতর অংশে গমন করে।
8. চৌম্বক আবেশ B -এর মান বহিস্থ চুম্বকন ক্ষেত্র H অপেক্ষা অনেক বেশি হয়।	চৌম্বক আবেশ B -এর মান বহিস্থ চুম্বকন ক্ষেত্র H অপেক্ষা সামান্য বেশি হয়।	চৌম্বক আবেশ B -এর মান বহিস্থ চুম্বকন ক্ষেত্র H অপেক্ষা কম হয়।
9. এদের ধারণ-ক্ষমতা আছে।	এদের ধারণ-ক্ষমতা নেই।	এদের ধারণ ক্ষমতা নেই।
10. কেলাসিত কঠিন পদার্থ।	তরল, কঠিন বা গ্যাসীয়।	তরল, কঠিন বা গ্যাসীয়।

4.16. পৃথিবী একটি বিরাট চুম্বক (The earth is a huge magnet) :

আমরা জানি, মুক্ত অবস্থায় বুলানো চুম্বক বা চুম্বকশলাকা সর্বদা উত্তর-দক্ষিণ মুখ করে থাকে। শলাকাকে নাড়িয়ে দিলে কিছুক্ষণ আন্দোলনের পর পুনরায় পূর্বের জায়গায় ফিরে আসে। ভূপৃষ্ঠের প্রায় সর্বত্রই চুম্বকশলাকার এইরকম আচরণ লক্ষ করা যায়। মনে হয় যেন কোনো আকর্ষণ-বলের প্রভাবেই চুম্বকশলাকা ঐরূপ নির্দিষ্ট দিকে মুখ করে থাকে। এই ঘটনা লক্ষ্য করে বহু পূর্বে প্রায় 1600 খ্রিস্টাব্দে ইংল্যান্ডের রানি এলিজাবেথের চিকিৎসক ডাঃ গিলবার্ট মত প্রকাশ করেন, পৃথিবী নিজেই একটি চুম্বক। ডাঃ গিলবার্ট বলেন, চুম্বক-শলাকাকে প্রভাবিত করতে একমাত্র চুম্বকই সক্ষম। যেহেতু চতুর্দিকে অন্য কোনো চুম্বক নেই সুতরাং পৃথিবীর চৌম্বক প্রভাবের দরুনই শলাকার ঐরূপ ব্যবহার লক্ষিত হয়। পরে ডাঃ গিলবার্ট একটি চুম্বকের গোলক তৈরি করে তার নিকট ছোটো ছোটো চুম্বক রেখে পরীক্ষা করে দেখান

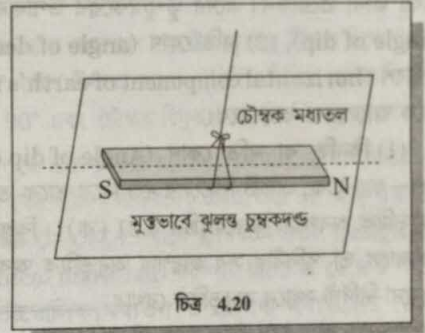
যে, তাদের ব্যবহারের সাথে পৃথিবীর বিভিন্ন স্থানে রাখা চুম্বকের ব্যবহারের সাদৃশ্য আছে। তাছাড়া এটা জানা ছিল, মাটির ভিতর কোনো চৌম্বক পদার্থ কিছুদিন পুঁতে রাখলে পৃথিবীর চৌম্বক প্রভাবের ফলে উত্ত চৌম্বক পদার্থ ক্ষীণ চুম্বকত্ব পায়। এই সমস্ত কারণে বিজ্ঞানীগণ মনে করেন, পৃথিবী একটি বিরাট চুম্বক।

সাধারণ চুম্বকের যেমন দুটি মেরু থাকে পৃথিবীর চুম্বকত্বেরও তেমনি দুটি মেরু আছে। পৃথিবীর চৌম্বক মেরুকে **নতি মেরু (dip poles)** বলে। ভারকেন্দ্র দিয়ে বুলানো কোনো চুম্বকশলাকা পৃথিবীর দুটি স্থানে ঠিক খাড়া (vertical) অবস্থায় থাকবে। সেই দুটি স্থানকে পৃথিবীর নতি মেরু বলা হয়। পৃথিবীর উত্তর চৌম্বক মেরু কানাডার বোথিয়া ফেলিক্স অঞ্চলে অবস্থিত এবং তা পৃথিবীর ভৌগোলিক উত্তর মেরু হতে প্রায় 2400 কিলোমিটার দূরে। পৃথিবীর দক্ষিণ চৌম্বক মেরু দক্ষিণ ভিকটোরিয়া অঞ্চলে অবস্থিত এবং ভৌগোলিক দক্ষিণ মেরু হতে প্রায় 2200 কিলোমিটার দূরে।

মনে রাখবে, চুম্বক-শলাকার যে-প্রান্ত পৃথিবীর উত্তর মেরুর অভিমুখী তা প্রকৃতপক্ষে শলাকার দক্ষিণ-মেরু, কারণ, দুই বিষম মেরুর ভিতর আকর্ষণ হয়ে থাকে। সেজন্য শলাকার উত্ত প্রান্তকে বলা হয় উত্তর-সম্বানী মেরু। কিন্তু সংক্ষেপ করার জন্য শলাকার ঐ প্রান্তকে উত্তর মেরুই বলা হয়। তেমনি শলাকার অপর প্রান্তকে বলা হয় দক্ষিণ-সম্বানী মেরু। সংক্ষেপে তা দাঁড়িয়েছে দক্ষিণ মেরু।

চৌম্বক মধ্যতল (Magnetic meridian plane) :

কোনো স্থানের চৌম্বক মধ্যতল বলতে ঐ স্থানের মধ্য দিয়ে এবং পৃথিবীর চৌম্বক উত্তর ও দক্ষিণ মেরুর মধ্য দিয়ে অঙ্কিত এক কাল্পনিক অভিলম্ব তল বুঝায়। কোনো স্থানে মুক্তভাবে (freely) বুলানো চুম্বকের অক্ষের ভিতর দিয়ে অঙ্কিত কাল্পনিক অভিলম্ব তল হবে ঐ স্থানের চৌম্বক মধ্যতল (চিত্র 4.20) ঐ তলের ওপর যদি একটি রেখা কল্পনা করা যায় যা মেরুদ্বয় এবং ঐ স্থানকে সংযুক্ত করে, তবে ঐ রেখাকে ঐ স্থানের **চৌম্বক মধ্যরেখা (meridian line)** বলে।



ভৌগোলিক মধ্যতল (Geographical meridian plane) : কোনো স্থানের ভৌগোলিক মধ্যতল বলতে ঐ স্থানের মধ্য দিয়ে এবং পৃথিবীর ভৌগোলিক উত্তর ও দক্ষিণ মেরুর মধ্য দিয়ে অঙ্কিত এক কাল্পনিক অভিলম্ব তলকে বুঝায়। ঐ তলের ওপর যদি একটি রেখা কল্পনা করা যায় যা ভৌগোলিক মেরুদ্বয়কে ও ঐ স্থানকে সংযুক্ত করে, তবে ঐ রেখাকে ঐ স্থানের ভৌগোলিক মধ্যরেখা বলে।

ভৌগোলিক অক্ষ ও ভৌগোলিক বিষুবরেখা : ভৌগোলিক উত্তর ও দক্ষিণ মেরুকে যুক্ত করে সরলরেখা কল্পনা করলে, তাকে ভৌগোলিক অক্ষ বলে। ভৌগোলিক অক্ষের কেন্দ্র দিয়ে অক্ষের অভিলম্ব রেখাকে বলা হয় ভৌগোলিক বিষুবরেখা।

চৌম্বক অক্ষ ও চৌম্বক বিষুবরেখা : চৌম্বক উত্তর মেরু ও দক্ষিণ মেরুকে যুক্ত করে সরলরেখা কল্পনা করলে, তাকে চৌম্বক অক্ষ বলে। চৌম্বক অক্ষের কেন্দ্র দিয়ে অক্ষের অভিলম্ব রেখাকে বলা হয় চৌম্বক বিষুবরেখা।

4.17 পৃথিবী কর্তৃক চুম্বকন (Magnetisation by the earth) :

পূর্বে উল্লেখ করা হয়েছে পৃথিবী একটি বিরাট চুম্বকের ন্যায় ব্যবহার করে। এর স্বপক্ষে আরও একটি জোরালো প্রমাণ এই যে অন্যান্য চুম্বকের ন্যায় পৃথিবীও চুম্বকনে সক্ষম। অবশ্য এই চুম্বকন খুব ক্ষীণ। নরম লোহা, পারমাণবিক, মিউ-মেটাল প্রভৃতি বিশেষ ধরনের চৌম্বক-প্রবণ পদার্থ ছাড়া এটি প্রদর্শন করা সম্ভব নয়। ঐ ধরনের চৌম্বক পদার্থকে যদি চৌম্বক মধ্যতলে ভূপৃষ্ঠের সমান্তরালভাবে বা উল্লম্বভাবে কিছুদিন রাখা যায়

ও মাঝে মাঝে একটি টোকা দেওয়া হয় তবে তারা ক্ষীণ চুম্বকে পরিণত হয়।

পৃথিবীর চুম্বকন শক্তির দৃষ্টান্ত নানা সাধারণ ঘটনার মধ্য দিয়ে মাঝে মাঝে আমাদের দৃষ্টিগোচর হয়। যে সকল লোহার বরগা উত্তর-দক্ষিণ মুখ করে ছাদে আটকানো আছে তাদের বা উল্লম্ব অবস্থায় রাখা লোহার রেলিং বা স্তম্ভ পরীক্ষা করলে ক্ষীণ চুম্বকত্ব ধরা পড়বে। পৃথিবীর উত্তর গোলার্ধে উল্লম্ব লোহা, ইস্পাতের রেলিং ও স্তম্ভ প্রভৃতির নিম্ন প্রান্ত N- মেরু এবং দক্ষিণ গোলার্ধে নিম্নপ্রান্ত S- মেরু প্রাপ্ত হয়। এটা পৃথিবীর চুম্বকন শক্তির জন্য ঘটে। জাহাজ নির্মাণের সময় ইস্পাতের প্লেটকে হাতুড়ি দিয়ে পেঁটাতে হয় ও রিভেট করতে হয়। এই সময় পৃথিবীর চুম্বকত্বের দরুন প্লেটগুলি ক্ষীণ চুম্বকে পরিণত হয়। জাহাজ নির্মাণে ঐ প্লেটগুলি ব্যবহার করলে জাহাজটি ক্ষীণ চুম্বকত্ব লাভ করবে। জাহাজের এই ক্ষীণ চুম্বকত্ব উপলক্ষ্য করে জার্মানরা ‘ম্যাগনেটিক মাইন’ উদ্ভাবন করেছিল। জাহাজের ক্ষীণ চুম্বকত্ব এই মাইনকে সক্রিয় করে তোলে এবং বিরাট বিস্ফোরণের সৃষ্টি করে জাহাজটিকে ধ্বংস করে।

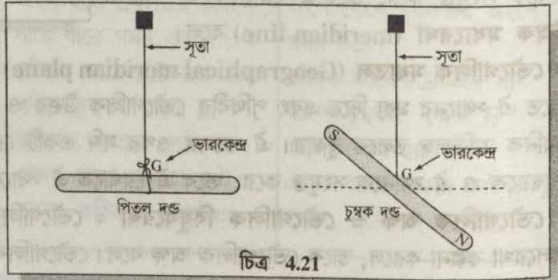
4.18.

ভূ-চুম্বকত্বের উপাদান বা মূলরাশি (Elements of earth's magnetism):

পৃথিবীর কোনো স্থানের ভূ-চুম্বকত্বের পরিমাণমূলক (quantitative) সঠিক ধারণার জন্য তিনটি মূল বিষয় জানা প্রয়োজন। এদের ভূ-চুম্বকত্বের উপাদান বা মূলরাশি বলে। এরা যথাক্রমে (1) বিনতি কোণ (angle of dip), (2) চ্যুতি কোণ (angle of declination) ও (3) ভূ-চৌম্বক প্রাবল্যের অনুভূমিক উপাংশ (horizontal component of earth's magnetic intensity)। এখন এদের সম্বন্ধে একে একে আলোচনা করা হবে।

(1) বিনতি বা নতি কোণ (Angle of dip or inclination) : কোনো অচৌম্বক পদার্থ নির্মিত দণ্ড—ধরা যাক, একটি পিতলের দণ্ড নিয়ে তাকে তার ভারকেন্দ্র হতে সুতো দিয়ে ঝোলালে দণ্ডটি সর্বদা অনুভূমিক অবস্থায় ঝুলবে [চিত্র 4.21 (ক)]। কিন্তু কোনো চুম্বক-শলাকাকে ভারকেন্দ্র হতে সুতো দিয়ে ঝোলালে তা পৃথিবীর সব জায়গায় অনুভূমিক অবস্থায় ঝুলবে না। দেখা যাবে, চুম্বক-শলাকার অক্ষ কোনো নির্দিষ্ট স্থানে অনুভূমিক রেখার সাথে একটু কাত হয়ে ঝুঁকে আছে [চিত্র 5.21 (খ)]। কারণ, চুম্বক-শলাকা পৃথিবীর চৌম্বক ক্ষেত্র দ্বারা আকর্ষিত হয় এবং ঐ নির্দিষ্ট স্থানে ভূ-চৌম্বক ক্ষেত্রের অভিমুখ অনুযায়ী নিজেকে স্থাপন করে। যদি কোনো ঝুলন্ত শলাকাকে ক্রমশ পৃথিবীর উত্তর গোলার্ধে নিয়ে যাওয়া হয় তবে দেখা যাবে, শলাকার উত্তরমেরু ক্রমশ নীচের দিকে ঝুঁকছে। আবার দক্ষিণ গোলার্ধে নিয়ে গেলে দেখা যাবে দক্ষিণ মেরু নীচের দিকে ঝুঁকছে। কেবলমাত্র চৌম্বক বিষুবরেখায় শলাকা অনুভূমিক থাকবে।

ওপরের বিবরণ থেকে বোঝা যায় যে ভূ-চৌম্বক ক্ষেত্র সর্বদা ভূ-সমান্তরাল হবে—তার কোনো অর্থ নেই। ভূপৃষ্ঠের বিভিন্ন বিন্দুতে ভূ-চৌম্বক ক্ষেত্রের প্রাবল্যের অভিমুখ সাধারণভাবে ভূ-সমান্তরাল হয় না।

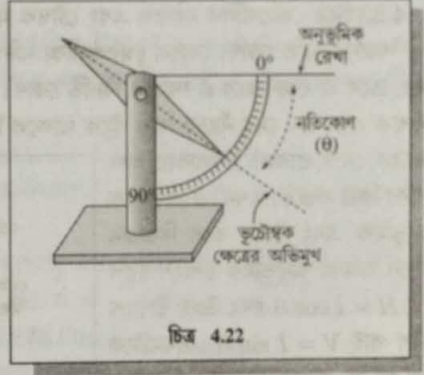


চিত্র -4.21

সংজ্ঞা : কোনো স্থানে অভিলম্বতলে বাধাহীনভাবে ঝুলন্ত চুম্বক-শলাকার বিলম্ব বিন্দুর (point of suspension) মধ্য দিয়ে অঙ্কিত অনুভূমিক তলের সাথে চুম্বকশলাকার অক্ষ যে কোণ উৎপন্ন করে তাকে ঐ স্থানের বিনতি বা নতি কোণ বলা হয়।

কোনো স্থানের বিনতি কোণ জানা থাকলে ঐ স্থানের ভূ-চৌম্বক ক্ষেত্রের অভিমুখ নির্ণয় করা যায়।

4.22 নং চিত্রে একটি কীলকাবন্ধ (pivoted) চুম্বকশলাকা দেখানো হল। শলাকাটি তার ভারকেন্দ্র দিয়ে গত অনুভূমিক অক্ষ সাপেক্ষে বাধাহীনভাবে উল্লম্ব তলে (vertical plane) আবর্তন করতে পারে। ধরো, কোনো নির্দিষ্ট স্থানে চুম্বকশলাকা অনুভূমিক তলের সাথে θ কোণ উৎপন্ন করে স্থির আছে। সুতরাং ঐ স্থানে বিনতি কোণ বা নতি কোণ θ । কোনো স্থানে চুম্বক শলাকার অক্ষ অনুভূমিক রেখার সাথে মিলে গেলে সেখানকার বিনতি 0° ; আবার কোনো স্থানে চৌম্বক শলাকার অক্ষ খাড়া উল্লম্ব হলে, সেখানকার বিনতি কোণ 90° ।



চিত্র 4.22

উপরোক্ত কীলকাবন্ধ অবস্থায় চুম্বকশলাকাকে সাধারণভাবে বিনতি চক্র (dip circle) বলা হয়। চুম্বকশলাকার N-মেরু নীচের দিকে ঝুঁকে থাকলে সেই স্থানের বিনতি কোণ ধনাত্মক বা পজিটিভ এবং S-মেরু নীচের দিকে ঝুঁকলে সেই স্থানের বিনতি কোণ ঋণাত্মক বা নেগেটিভ ধরা হয়। উত্তর গোলার্ধে বিনতি কোণ মোটামুটি ধনাত্মক এবং দক্ষিণ গোলার্ধে ঋণাত্মক।

“কলকাতার বিনতি কোণ 30° N ”—এই উক্তি বুঝায় যে, কলকাতায় কোনো চুম্বক শলাকাকে ভারকেন্দ্র হতে ঝোলালে তার উত্তর-মেরু নীচের দিকে ঝুঁকবে এবং চুম্বক শলাকার অক্ষ অনুভূমিক তলের সাথে 30° কোণ উৎপন্ন করবে। পৃথিবীর বিভিন্ন স্থানে বিনতি-কোণ বিভিন্ন; পৃথিবীর চৌম্বক মেরুতে বিনতি-কোণ 90° এবং চৌম্বক বিষুবরেখায় বিনতি কোণ 0° ।

(2) চ্যুতি কোণ (Angle of declination): পূর্বে উল্লেখ করা হয়েছে, পৃথিবীর চৌম্বক উত্তরমেরু ও ভৌগোলিক উত্তরমেরু অথবা চৌম্বক দক্ষিণমেরু ও ভৌগোলিক দক্ষিণমেরু একই জায়গায় অবস্থিত নয়। তারা পরস্পর হতে কিছু দূরে অবস্থিত। ফলে পৃথিবীর যে-কোনো স্থানে চৌম্বক মধ্যতল (magnetic meridian) এবং ভৌগোলিক মধ্যতল (geographical meridian) পরস্পর মিশে না যেতেও পারে। কোনো স্থানের চ্যুতিকোণ বলতে ঐ স্থানে ভৌগোলিক মধ্যতল ও চৌম্বক মধ্যতলের ভিতর যে কোণ উৎপন্ন হবে তাই বুঝায় (6.23 নং চিত্রে δ)। যেমন, কলকাতার চ্যুতি কোণ $0^\circ 33' \text{ E}$ বললে বুঝাবে, কলকাতায় ঐ দুই মধ্যতলের ভিতর যে কোণ উৎপন্ন হবে তা $0^\circ 33'$ এবং বাধাহীন ভাবে অনুভূমিকতলে ঘুরতে সক্ষম এইরূপ একটি চুম্বক-শলাকার উত্তরমেরু উক্ত কোণ উৎপন্ন করে ভৌগোলিক মধ্যরেখা হতে পূর্বদিকে সরে থাকবে। আবার দিল্লির চ্যুতি কোণ 2° W বললে বুঝাবে যে দিল্লিতে চুম্বকশলাকার উত্তরমেরু উক্ত কোণ করে ভৌগোলিক মধ্যরেখা হতে পশ্চিমদিকে সরে থাকবে। সাধারণভাবে তাদের $\delta^\circ \text{ E}$ অথবা $\delta^\circ \text{ W}$ এইভাবে প্রকাশ করা হয়। যেস্থানে চৌম্বক ও ভৌগোলিক মধ্যতল পরস্পরে সাথে মিশে যাবে, সেখানে চ্যুতি কোণ শূন্য।

(3) ভূ-চৌম্বক প্রাবল্যের অনুভূমিক উপাংশ (Horizontal component of earth's magnetic field): বিনতি কোণ প্রসঙ্গে বলা হয়েছে, উল্লম্ব তলে ঘুরতে সক্ষম এরূপ একটি চুম্বক-শলাকা পৃথিবীর কোনো স্থানে অনুভূমিক রেখায় সাথে কোণ করে অবস্থান করে (চিত্র 4.22 দেখ)। এথেকে বোঝা যায়, ঐ স্থানে পৃথিবীর মোট চৌম্বক-প্রাবল্য (total magnetic intensity) ঐ অভিমুখে ক্রিয়া করে। এই প্রাবল্যকে অনুভূমিক ও উল্লম্ব তলে বিভাজন করলে অনুভূমিক উপাংশকে বলা হয় ঐ স্থানের ভূ-চৌম্বক প্রাবল্যের অনুভূমিক উপাংশ।

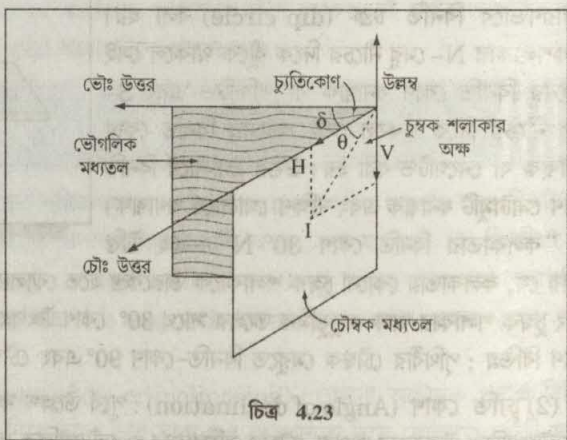
সংজ্ঞা : কোনো স্থানে ভূ-চৌম্বক ক্ষেত্রের প্রাবল্যকে চৌম্বক মধ্যতল বরাবর অনুভূমিক ও উল্লম্ব অংশে বিভাজন করলে, অনুভূমিক উপাংশকে অনুভূমিক প্রাবল্য বলা হয়।

বিভিন্ন স্থানে ভূ-চৌম্বক প্রাবল্যের অনুভূমিক উপাংশের মান বিভিন্ন। চৌম্বক মেরুবুয়ে এর মান সর্বনিম্ন (অর্থাৎ শূন্য) এবং চৌম্বক বিষুবরেখা বা নিরক্ষরেখায় সর্বোচ্চ। উল্লেখযোগ্য যে স্থানে বিনতি কোণ 45° সেই স্থানে উল্লম্ব উপাংশ ও অনুভূমিক উপাংশ পরস্পরের সমান।

ভূ-চৌম্বক ক্ষেত্রের অনুভূমিক ও উল্লম্ব উপাংশের মান :

4.23 চিত্রে ভৌগোলিক মধ্যতল এবং চৌম্বক মধ্যতল দেখানো হয়েছে। এই দুই তলের অন্তর্বর্তী কোণ δ এই স্থানের চ্যুতি কোণ। কোনো চুম্বকশলাকা যদি চৌম্বক মধ্যতলে থেকে অনুভূমিকের সাথে θ কোণ করে, তবে ঐ কোণ হবে ঐ স্থানের বিনতি কোণ। N- মেরু নীচের দিকে ঝুঁকে থাকলে ঐ বিনতি কোণ ধনাত্মক এবং S- মেরু নীচের দিকে ঝুঁকে থাকলে বিনতি কোণ ঋণাত্মক। তাছাড়া ঐ স্থানের ভূ-চৌম্বক

ক্ষেত্রের মোট প্রাবল্য I শলাকার অক্ষ রবাবর ক্রিয়া করবে। এখন, ঐ প্রাবল্যকে অনুভূমিক এবং উল্লম্ব তলে বিভাজন করলে আমরা অনুভূমিক উপাংশ স্বরূপ পাই $H = I \cos \theta$ এবং উল্লম্ব উপাংশ স্বরূপ পাই $V = I \sin \theta$ । প্রথমটিকে বলা হয় ভূ-চৌম্বক প্রাবল্যের অনুভূমিক উপাংশ এবং দ্বিতীয়টিকে উল্লম্ব উপাংশ। এইভাবে একই চিত্রে তিনটি উপাদানকে প্রদর্শন করানো যায়। সুতরাং ভূ-চৌম্বক ক্ষেত্রের অনুভূমিক উপাংশ $H = I \cos \theta$ এবং ভূ-চৌম্বক ক্ষেত্রের উল্লম্ব উপাংশ $V = I \sin \theta$ ।



চিত্র 4.23

$$\therefore \frac{V}{H} = \frac{I \sin \theta}{I \cos \theta} = \tan \theta ;$$

$$\text{আবার, } H^2 + V^2 = I^2 (\sin^2 \theta + \cos^2 \theta) = I^2 \therefore I = \sqrt{H^2 + V^2}$$

6.23 নং চিত্র হতে বোঝা যায় যে H , θ এবং δ এই তিনটি রাশির মান জানা থাকলে, প্রাবল্য I -এর মান ও অভিমুখ সাধারণভাবে নির্ণয় করা যায়।

EXAMPLES

1. কোনো স্থানে বিনতি কোণ 45° এবং ভূ-চৌম্বক ক্ষেত্রের মোট প্রাবল্য $5 \times 10^{-3} \text{ T}$ । ঐ স্থানে ভূ-চৌম্বক ক্ষেত্রের অনুভূমিক ও উল্লম্ব উপাংশ কত?

উঃ। $\frac{V}{H} = \tan \theta = \tan 45^\circ = 1$; কাজেই $V = H$

আবার, $I = \sqrt{H^2 + V^2} = \sqrt{2} \cdot H \therefore 5 \times 10^{-3} = \sqrt{2} \cdot H$

অথবা, $H = \frac{5 \times 10^{-3}}{\sqrt{2}} = 3.54 \times 10^{-3} \text{ T}$ । আবার $V = H = 3.54 \times 10^{-3} \text{ T}$

2. A স্থানে ভূ-চৌম্বক ক্ষেত্রের মোট প্রাবল্য $5 \times 10^{-3} \text{ T}$ এবং বিনতি কোণ 30° ; B স্থানে মোট প্রাবল্য $5.5 \times 10^{-3} \text{ T}$ এবং বিনতি কোণ 45° ; ঐ দুইস্থানে ভূ-চৌম্বক ক্ষেত্রের অনুভূমিক প্রাবল্যের তুলনা করো।

উঃ। মনে করো, H_A , H_B এবং I_A , I_B যথাক্রমে A এবং B স্থানে অনুভূমিক প্রাবল্য ও মোট প্রাবল্য। সূত্রানুসারে, $H_A = I_A \cos \theta_1$ এবং $H_B = I_B \cos \theta_2$.

$$\therefore \frac{H_A}{H_B} = \frac{I_A \cdot \cos \theta_1}{I_B \cdot \cos \theta_2} = \frac{5 \times 10^{-3} \cos 30^\circ}{5.5 \times 10^{-3} \cos 45^\circ} = \frac{5 \times \sqrt{3} \times \sqrt{2}}{2 \times 5.5 \times 1} = \frac{11}{10} \text{ (প্রায়)}।$$

৩. কোনো এক স্থানে ভূ-চৌম্বক ক্ষেত্রের অনুভূমিক উপাংশ 0.4212 Oe , বিনতি কোণ 70° এবং চুতি কোনো 15° । ঐ স্থানে ভৌগোলিক মধ্যতলে, ভূ-চৌম্বক ক্ষেত্রের অনুভূমিক উপাংশ কত হবে?

উঃ। 6.23 নং চিত্র দেখো। এখানে $H = 0.4212 \text{ Oe}$; $\delta = 15^\circ$ এবং $\theta = 70^\circ$.

ভৌগোলিক মধ্যতলে ভূ-চৌম্বক ক্ষেত্রের অনুভূমিক উপাংশ $H' = H \cdot \cos \delta = 0.4212 \times \cos 15^\circ = 0.4212 \times 0.9659 = 0.4068 \text{ Oe}$.

ভূ-চুম্বক ক্ষেত্রের উল্লম্ব উপাংশ মান চৌম্বক মধ্যতলে এবং ভৌগোলিক মধ্যতলে একই হবে।

সুতরাং নির্ণেয় উল্লম্ব উপাংশের $V' = V = H \cdot \tan \theta = 0.4214 \times \tan 70^\circ = 0.4214 \times 2.7475 = 1.1578 \text{ Oe}$.

৪. 3.5 g ভরের একটি চৌম্বক-শলাকার ড্রামক 2000 cgs একক। তাকে কোন্ বিন্দুতে ঝোলালে তা চৌম্বক মধ্যতলে অনুভূমিক অবস্থায় থাকবে? ঐ স্থানে ভূ-চৌম্বক ক্ষেত্রের প্রাবল্য 0.32 Oe ও বিনতি কোণ 45°N [$g = 980 \text{ cm/s}^2$]

উঃ। এখানে $H = 0.32 \text{ Oe}$ এবং বিনতি কোণ $\theta = 45^\circ$ এখন, $V = H \tan \theta = 0.32 \times \tan 45^\circ = 0.32 \text{ Oe}$.

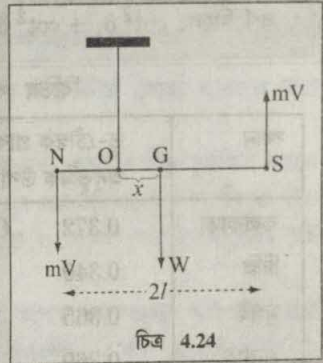
ধরো, শলাকার দৈর্ঘ্য $= 2l$ এবং শলাকার ভারকেন্দ্র G হতে N -মেরুর দিকে x দূরত্বে শলাকাকে ঝোলালে শলাকা অনুভূমিক হল [চিত্র 4.24] ভারকেন্দ্র হতে শলাকার ওজন $W = mg = 3.5 \times 980 \text{ dyne}$ ক্রিয়া করে; তাছাড়া দুই মেরুতে mV বল খাড়া নীচু দিকে এবং উঁচু দিকে ক্রিয়া করে। শলাকা সাম্যবস্থায় থাকায় যে-কোনো বিন্দু (ধরো O বিন্দু) সাপেক্ষে বলগুলির ড্রামকের সমষ্টি শূন্য হবে। অতএব, $mV(l-x) + mV(l+x) - Wx = 0$ অথবা $2mVl = Wx$ অথবা $MV = Wx$ [$M =$ চৌম্বক ড্রামক $= 2ml$]

$$\therefore x = \frac{MV}{W} = \frac{2000 \times 0.32}{3.5 \times 980} = 0.18 \text{ cm}.$$

৫. একটি চৌম্বক শলাকার চৌম্বক অক্ষ যে-কোনো উল্লম্ব তলে অনুভূমিক রেখা থেকে δ_1 কোণে নত থাকে এবং প্রথম উল্লম্ব তলের লম্ব উল্লম্ব তলে δ_2 কোণে নত থাকে। প্রমাণ করো δ প্রকৃত বিনতি কোণ হলে, $\cot^2 \delta = \cot^2 \delta_1 + \cot^2 \delta_2$ [Jt. Entrance 1984]

উঃ। প্রথম উল্লম্ব তলে OC চৌম্বক শলাকার অক্ষ [চিত্র 6.25]। তা P_1Q_1 অনুভূমিক রেখা হতে δ_1 কোণে নত—অর্থাৎ ঐ স্থানে আপাত বিনতি কোণ $= \delta_1$; এই অবস্থায় OC ভূ-চৌম্বক ক্ষেত্রের মোট প্রাবল্যের দিক নির্দেশ করছে। OA হবে ভূ-চৌম্বক ক্ষেত্রের উল্লম্ব উপাংশ। এটা দুই উল্লম্ব তলেই অপরিবর্তিত থাকবে।

এখন, $OB = H_1$; ভূ-চৌম্বক ক্ষেত্রের অনুভূমিক উপাংশ নিলে, লেখা যায় $\frac{V}{H_1} = \tan \delta_1 \dots (i)$



চিত্র 4.24

আবার ভূ-চৌম্বক ক্ষেত্রের প্রকৃত অনুভূমিক উপাংশ H হলে, $H_1 = H \cos \theta$ (ii)

প্রথম উল্লম্ব তলের লম্ব উল্লম্ব তল নিলে, আপাত বিনতি কোণ $= \delta_2$; তখন θ -এর মান হবে

$(\theta + 90^\circ)$; এক্ষেত্রে $\frac{V}{H_2} = \tan \delta_2$ এবং

$$H_2 = H \cos (90^\circ + \theta) = -H \sin \theta$$

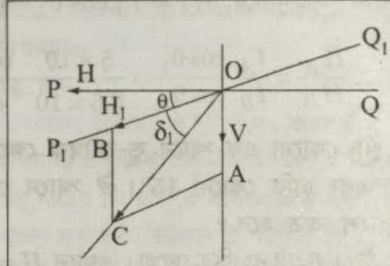
(i) এবং (ii) নং সমীকরণ হতে পাই

$$\frac{V}{H \cos \theta} = \tan \delta_1 \text{ অথবা, } \cot \delta_1 = \frac{H \cos \theta}{V}$$

দ্বিতীয় অবস্থা হতে পাই, $-\frac{V}{H \sin \theta} = \tan \delta_2$

$$\text{অথবা, } \cot \delta_2 = \frac{-H \sin \theta}{V}$$

$$\text{বর্গ নিলে, } \cot^2 \delta_1 + \cot^2 \delta_2 = \frac{H^2}{V^2} = \cot^2 \delta$$



চিত্র 4.25

বিভিন্ন স্থানে ভূ-চৌম্বক উপাদানের মান :

স্থান	ভূ-চৌম্বক প্রাবল্যের অনুভূমিক উপাংশ	চূড়ান্ত কোণ	বিনতি কোণ
কলকাতা	0.372 Oersted	44' E	30° N
দিল্লি	0.340 „	2°2' E	40°56' „
মুম্বই	0.365 „	41' E	25° „
চেন্নাই	0.369 „	10' W	34.37' „
লন্ডন	0.180 „	14°18' W	66°64' „

এই পরিচ্ছেদের বিষয়বস্তু সম্পর্কে কয়েকটি প্রশ্ন (Some typical problems of this chapter)

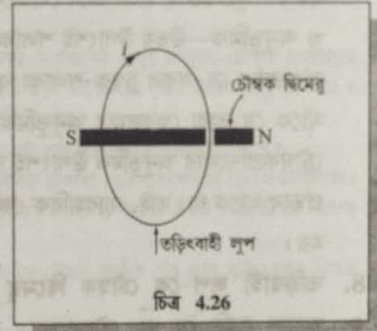
- একটি ইস্পাতের তারকে চুম্বকিত করে L অক্ষরের মত বাঁকানো হল। তারের দুই বাহুর দৈর্ঘ্য 3 cm এবং 4 cm হলে এবং তারের চৌম্বক মেরুশক্তির 30 একক হলে, তার চৌম্বক ভ্রামক কত হবে?
 - তারের দুই বাহু পরস্পরের সাথে সমাকোণে আছে বলে দুই মেরুর অন্তর্বর্তী দূরত্ব $= \sqrt{(3)^2 + (4)^2} = 5 \text{ cm}$ ।
অতএব, চৌম্বকভ্রামক = চুম্বকের মেরুশক্তি \times মেরুদ্বয়ের অন্তর্বর্তী দূরত্ব $= 30 \times 5 = 150$ একক।
- একটি দণ্ড চুম্বকের কাছাকাছি জায়গায় বলরেখাগুলি বেশ ঘনবিন্যস্ত হয় কিন্তু অপেক্ষাকৃত দূরবর্তী স্থানে তত হয় না; এর কারণ কী?
 - পৃথিবী নিজে একটি বিরাট চুম্বকের ন্যায় ব্যবহার করে এবং কোনো একটি সীমিত স্থানে ভূ-চৌম্বক ক্ষেত্র সমামানযুক্ত (uniform) হয়। ঐ ক্ষেত্রের বলরেখা টানলে, সর্বদা সমান্তরাল বলরেখা পাওয়া যাবে; এখন ভূপৃষ্ঠের কোথাও একটি দণ্ড-চুম্বক রাখলে, দণ্ড-চুম্বক সেখানে তার নিজস্ব বলরেখাও

সৃষ্টি করবে। দণ্ডের কাছাকাছি জায়গা নিজস্ব বলরেখা এবং ভূ-চৌম্বক ক্ষেত্রের বলরেখা একসঙ্গে মিলে ঘনবিন্যস্ত বলরেখা উৎপন্ন করে। এখন দণ্ড হতে যত দূরে যাওয়া যায় তত দণ্ডের ক্ষেত্র-প্রাবল্য কমে যায় এবং দণ্ডের বলরেখার সংখ্যাও কমে যায় কিন্তু ভূ-চৌম্বক ক্ষেত্রের দিক বলরেখা অপরিবর্তিত থাকে। এই কারণে দণ্ড হতে দূরবর্তী স্থানে বলরেখার মেট সংখ্যা হ্রাস পায় এবং রেখাগুলিও তত ঘন বিন্যস্ত হয় না।

3. চৌম্বক দ্বিমেরু (dipole) কাকে বলে? এর ভ্রামক কত?

- যখন m মেরুশক্তির একটি উত্তর মেরু এবং সমশক্তির একটি দক্ষিণ মেরু সামান্য তফাত রেখে বসানো হয় তখন তাদের চৌম্বক দ্বিমেরু বলে। মেরুদ্বয়ের পারস্পরিক দূরত্ব d হলে, দ্বিমেরু ভ্রামক $= m.d$ । এই ভ্রামকের অভিমুখ দক্ষিণ মেরু হতে উত্তর মেরুর দিকে।

একটি ক্ষুদ্র বৃত্তাকার তারের লুপে যদি i তড়িৎপ্রবাহ যায় এবং লুপের ক্ষেত্রফল যদি A হয় তবে ঐ তড়িৎবাহী লুপকে একটি চৌম্বক দ্বিমেরু দ্বারা প্রতিস্থাপন করা যায় যার ভ্রামক $= md = iA$ [চিত্র 4.26]। ঐ দ্বিমেরুটি লুপের অক্ষ বরাবর বসানো আছে মনে করতে হবে।



4. স্থায়ী চুম্বক নির্মাণের জন্য ইস্পাত ও তড়িৎ চুম্বক নির্মাণের জন্য কাঁচা লোহা ব্যবহার করা হয়? কারণ কী?

- স্থায়ী চুম্বক নির্মাণ করতে হলে তার উপাদান এরূপ হওয়া প্রয়োজন যে তাকে একবার চুম্বকিত করলে সে তার চুম্বকত্ব দীর্ঘদিন বজায় রাখবে — অর্থাৎ ঐ উপাদানের ধারণক্ষমতা ও সহনশীলতা উচ্চ মাত্রার হওয়া প্রয়োজন। দেখা গেছে যে ইস্পাতের ধারণক্ষমতা ও সহনশীলতা উচ্চমানের। তাই ইস্পাত দ্বারা স্থায়ী চুম্বক নির্মাণ করা হয়।

তড়িৎ চুম্বক নির্মাণ করতে হলে এরূপ উপাদান নির্বাচন করতে হবে যাকে চুম্বকিত করলে শক্তিশালী চুম্বকে পরিণত হয় কিন্তু খুব সহজেই ঐ চুম্বকত্ব লোপ করা যায়। তড়িৎ চুম্বককে বার বার চুম্বকিত করতে হয় বলে তার উপাদানের উপরোক্ত ধর্ম প্রয়োজন। সংক্ষেপে বলা যায় যে উপাদানের ধারণক্ষমতা ও সহনশীলতা নিম্নমানের কিন্তু চৌম্বক প্রবণতা ও ভেদ্যতা উচ্চমানের হওয়া প্রয়োজন। পরীক্ষা করে দেখা গেছে যে কাঁচা লোহা উপরোক্ত ধর্মাবলির অধিকারী। তাই তড়িৎ চুম্বক নির্মাণে কাঁচা লোহা ব্যবহৃত হয়।

5. তোমাকে একটি ছোটো ধাতব দণ্ড দেওয়া হল। দণ্ডটি পরাচৌম্বক কিংবা অয়শ্চৌম্বক কিংবা তিরশ্চৌম্বক তা কীভাবে পরীক্ষা করবে?

- দণ্ডকে সুতো দিয়ে অনুভূমিকভাবে একটি শক্তিশালী তড়িৎ চুম্বকের দুই মেরুর মাঝখানে ঝুলাও। এবার তড়িৎ চুম্বকে তড়িৎ প্রবাহ পাঠালে দণ্ডটি প্রবল চৌম্বকক্ষেত্রে পড়বে। তখন যদি ধীরে ধীরে ঘুরে তড়িৎ চুম্বকের N-S বরাবর নিজেকে স্থাপন করে, তবে তা পরাচৌম্বক পদার্থ। যদি দণ্ডটি দ্রুত ঘুরে N-S বরাবর নিজেকে স্থাপন করে, তবে তা অয়শ্চৌম্বক পদার্থ। আর যদি দণ্ডটি ঘুরে N-S অভিমুখের সঙ্গে সমকোণে নিজেকে স্থাপন করে, তবে তা তিরশ্চৌম্বক পদার্থ।

6. একটি কম্পাস কাঁটাকে এক টুকরো কর্কের ওপর রেখে ককটিকে উত্তর-গোলার্ধে হ্রদের জলের ওপর ভাসানো হল। কর্কসহ কম্পাস কাঁটা কি উত্তর দিকে চলতে থাকবে?

- কম্পাস কাঁটা আকারে খুব ক্ষুদ্র। ঐ অল্প পরিসরে ভূ-চৌম্বক ক্ষেত্রের প্রাবল্য সমমানের। তাছাড়া কম্পাস-কাঁটার দুই মেরুর শক্তি সমান। এই সকল কারণে কম্পাস কাঁটার উত্তর-মেরু উত্তরমুখী যে-বল অনুভব করবে দক্ষিণ-মেরুও একই বল অনুভব করবে কিন্তু বিপরীত দিকে। দুটি সমান বল একই রেখা বরাবর বিপরীত দিকে ক্রিয়া করলে লব্ধি বল হয় শূন্য। কম্পাস কাঁটার ওপর

কোনো লব্ধি বল ক্রিয়া না করায় তার কোনো চলন হবে না ; তা স্থির অবস্থাতেই ভাসতে থাকবে।

7. অধিকাংশ ক্ষেত্রে আমাদের ভূ-চৌম্বক প্রাবল্যের অনুভূমিক উপাংশ জানান প্রয়োজন হয় ; উল্লম্ব উপাংশের বিশেষ প্রয়োজন হয় না। এর কারণ কী?

● কোনো চুম্বক-শলাকাকে যদি এরূপভাবে আলম্বিত (suspended) রাখা যায় যে তা অনুভূমিক ও উল্লম্ব—দুই তলেই স্বাধীনভাবে ঘোরাফেরা করতে পারে, তাহলে ঐ স্থানের ভূ-চৌম্বক ক্ষেত্রের উল্লম্ব ও অনুভূমিক—উভয় উপাংশই শলাকার ওপর ক্রিয়া করে বিক্ষিপ্ত ঘটাবে। কিন্তু গবেষণাগারে আমরা সাধারণত যে-সকল চুম্বক-শলাকা ব্যবহার করি, তাদের এরূপভাবে কীলকাবদ্ধ (pivoted) করা থাকে যে তারা কেবলমাত্র অনুভূমিক তলে ঘোরাফেরা করে—উল্লম্বতলে করে না। ফলে পৃথিবীর চৌম্বকপ্রাবল্যের অনুভূমিক উপাংশই তার ওপর ক্রিয়া করে বিক্ষিপ্ত ঘটায়—উল্লম্ব উপাংশের কোনো প্রভাব থাকে না। তাই, ব্যবহারিক ক্ষেত্রে আমাদের কেবল অনুভূমিক উপাংশের মান জানা প্রয়োজন হয়।

8. তড়িৎবাহী লুপ-কে চৌম্বক দ্বিমেরু বলে গণ্য করার যুক্তি কী?

● আমরা জানি যে \vec{B} চৌম্বকক্ষেত্রে রাখা একটি তড়িৎবাহী লুপ যে টর্ক অনুভব করে তা $\tau = B i A \cdot \sin \theta$ যেখানে $\theta =$ লুপের তলের অভিলম্ব এবং চৌম্বক ক্ষেত্রের অভিমুখের অন্তর্বর্তী কোণ। আবার \vec{B} চৌম্বক ক্ষেত্রে রাখা একটি চৌম্বক দ্বিমেরু যে টর্ক অনুভব করে, তা $\tau = MB \sin \theta$ টর্কের এই দুটি সম্পর্ক তুলনা করলে পাই তড়িৎবাহী লুপ একটি চৌম্বক দ্বিমেরুর সমতুল্য। তাছাড়া তড়িৎবাহী লুপের দরুন চৌম্বক ক্ষেত্রের রাশিমালা চৌম্বক দ্বিমেরুর দরুন চৌম্বক ক্ষেত্রের রাশিমালার সদৃশ।

9. সুবহ চৌম্বক ক্ষেত্রে রাখা একটি চৌম্বক দ্বিমেরুর ওপর কার্যরত টর্কের রাশিমালা কী?

● 8 নং প্রশ্ন দেখো।

10. ভূপৃষ্ঠের দু-জায়গায় চৌম্বক বিনতি 0° এবং 90° । ঐ দু-জায়গার নাম উল্লেখ করো।

● চৌম্বক বিষুব রেখায় বিনতি কোণ 0° এবং চৌম্বক মেরুতে 90° ।

11. কোনো এক বিন্দুতে চৌম্বক ক্ষেত্রের অস্তিত্ব থাকলে, তা তড়িৎবাহী পরিবাহী সৃষ্ট না ভূ-চুম্বকত্বের জন্য সৃষ্ট কী করে বোঝা যাবে?

● পর্যবেক্ষণ বিন্দুতে একটি ছোটো কম্পাস কাঁটা (compass needle) রাখলে কাঁটা যদি উত্তর-দক্ষিণ মুখী হয়ে স্থির হয়, তবে বুঝতে হবে চৌম্বক ক্ষেত্র ভূ-চুম্বকত্বের জন্য সৃষ্টি হয়েছে : আর যদি কম্পাস কাঁটা উত্তর-দক্ষিণ দিক ছাড়া অন্য যে-কোনো দিক নির্দেশ করে স্থির হয় তবে বুঝতে হবে চৌম্বক ক্ষেত্র তড়িৎবাহী পরিবাহী দ্বারা সৃষ্টি হয়েছে। পরিবাহীর তড়িৎ প্রবাহ বন্ধ করে দিলে কাঁটা আবার উত্তর-দক্ষিণ দিকে মুখ করে স্থির হবে।

12. (i) এমন একটি পদার্থের নাম করো যার চৌম্বক ভেদ্যতা ঋণাত্মক। (ii) এমন একটি পদার্থের নাম করো যার চৌম্বক গ্রাহিতা ঋণাত্মক।

● (i) কোনো পদার্থেরই চৌম্বক ভেদ্যতা ঋণাত্মক হয় না। (ii) তিরচৌম্বক পদার্থের চৌম্বক গ্রাহিতা ঋণাত্মক।

13. নিম্নলিখিত পদার্থগুলির মধ্যে ক্ষেত্র \vec{B} প্রবলতর না ক্ষেত্র \vec{H} প্রবলতর? (ক) অয়স্চৌম্বক (খ) পরা চৌম্বক (গ) তিরচৌম্বক?

● (a) অয়স্চৌম্বক পদার্থে $B \gg H$ (b) পরাচৌম্বক পদার্থে $B > H$ (c) তিরচৌম্বক পদার্থে $B < H$ ।

* প্রশ্নাবলি *

রচনামূলক প্রশ্ন

1. চৌম্বক দ্বিমেরু কাকে বলে? একটি চৌম্বক দ্বিমেরুকে চৌম্বক ক্ষেত্রে কুলিয়ে সাম্যাবস্থায় থেকে বিক্ষিপ্ত করলে এর ওপর যে টর্ক ক্রিয়া করে তার রাশিমালা নির্ণয় করো। এথেকে চৌম্বক দ্বিমেরু ভ্রামকের সংজ্ঞা দাও।
2. হাইড্রোজেন পরমাণুতে প্রোটনকে কেন্দ্র করে একটি ইলেকট্রন বৃত্তপথে পরিভ্রমণ করে। ইলেকট্রনের চৌম্বক দ্বিমেরু ভ্রামকের একটি রাশিমালা নির্ণয় করো।
3. চৌম্বক দ্বিমেরুর জন্য (i) প্রাপ্তস্থিত বিন্দুতে এবং (ii) চূষকের লম্ব-স্থিতিস্থলের ওপর বিন্দুতে চৌম্বক প্রাবল্যের রাশিমালা নির্ণয় করো। এই বিন্দু দুটি চূষকের কেন্দ্র থেকে সমদূরবর্তী হলে এই প্রাবল্য দুটির মানের অনুপাত কত?
4. চৌম্বক বলরেখা বলতে কী বোঝ? চৌম্বক বলরেখার মুখ্য ধর্মগুলি লেখো।
5. চূষকত্বের আগবিক তত্ত্ব সংক্ষেপে বর্ণনা করো। ঘর্ষণজাত চূষকত্ব এই তত্ত্ব দ্বারা কীভাবে ব্যাখ্যা করবে?
6. নিম্নলিখিত বিষয়গুলি সম্বন্ধে যা জান লেখো : (i) ভেদ্যতা (ii) চৌম্বক প্রবণতা (iii) ধারণক্ষমতা (iv) সহনশীলতা।
7. অয়চৌম্বক, পরাচৌম্বক ও তিরচৌম্বক পদার্থের ভিতর তুলনামূলক আলোচনা করো। একটি অয়চৌম্বক পদার্থ কখন পরাচৌম্বক পদার্থে পরিণত হয়?
8. পৃথিবী একটি বিরাট চূষক এটা বিশ্বাস করবার পক্ষে যুক্ত কি? পৃথিবীর চৌম্বক অক্ষীয় মেরু এবং নতি মেরুর ভিতর পার্থক্য কী?
9. পৃথিবীর চৌম্বক ক্ষেত্রের চূষকীয় উপাদানগুলির নাম করো ও ব্যাখ্যা দাও।
10. কোনও স্থানের বিনতি ও চ্যুতির সংজ্ঞা লেখো।
11. ভূ-চূষকত্বের তিনটি উপাদান কি কি? একই চিত্রে ঐ তিনটি উপাদানকে কীভাবে দেখানো যায়? ভূ-চৌম্বক ক্ষেত্রের প্রকৃতি বর্ণনা করো।

সংক্ষিপ্ত উত্তরের প্রশ্ন

1. দেখাও যে : তড়িৎদ্বাহী এবং A ক্ষেত্রফল যুক্ত একটি লুপ একটি চৌম্বক দ্বিমেরুর সমতুল্য এবং তার ভ্রামক $M = iA$ ।
2. ট্যানজেন্ট গ্যালভানোমিটার কী? এই যন্ত্রের ঐ নাম কেন? ট্যানজেন্ট গ্যালভানোমিটার সাহায্যে পরীক্ষা করার সময় গ্যালভানোমিটার বিক্ষেপকে 45° -র কাছাকাছি রাখা হয় কেন?
3. একটি ট্যানজেন্ট গ্যালভানোমিটারে (ক) কুণ্ডলীর তল চৌম্বক মধ্যরেখায় না থাকলে (খ) কুণ্ডলী উল্লম্বতলের না থাকলে এবং (iii) চূষক শলাকা ছোটো না হলে কী হবে ব্যাখ্যা করো।
4. এক মেরু বিশিষ্ট চূষক সৃষ্টি করা সম্ভব নয় — এর কারণ কী?
5. কুরী বিন্দু বলতে কী বোঝ? লোহার কুরী বিন্দু 770°C — ব্যাখ্যা করো?
6. A এবং B দুটি বস্তুর আপেক্ষিক ভেদ্যতা যথাক্রমে 1 থেকে কিছু বেশি এবং কিছু কম। এ থেকে বস্তু দুটির চৌম্বক ধর্ম সম্বন্ধে কী জানা যায়? A এবং B কী ধরনের চৌম্বক পদার্থের অন্তর্গত?
7. কোনো তীর সূচক চৌম্বক ক্ষেত্রে (i) পরাচৌম্বক পদার্থের এবং (ii) তিরচৌম্বক পদার্থের গোলক স্থাপন করলে বলরেখাসমূহের বিন্যাস কী রকম হবে দেখাও।

অতিসংক্ষিপ্ত উত্তরের প্রশ্ন

1. ট্যানজেন্ট সূত্র কী?
2. কলিং বেলের ভিডিচূষকটি ইম্পাউন্সের তৈরি করলে অসুবিধা কি?
3. কোন্ কোন্ পরমাণু বা আয়নে পরাচৌম্বকত্ব নেই? উদাহরণ দাও।
[সংক্ষেপে : যে সকল পরমাণু বা আয়নে খোলকগুলি (shell) সংপূর্ণ—অর্থাৎ, কোনো ভ্যালেন্স ইলেকট্রন নেই—তাদের পরাচৌম্বকত্ব থাকে না। উদাহরণ, He, Ne প্রভৃতি পরমাণু এবং Na^+ Cl^- প্রভৃতি আয়ন]
4. চৌম্বক দ্বিমেরু ভ্রামকের S.I. একক কি?
5. পৃথিবীর চৌম্বক মেরুতে নতি কোণ কত?
6. বিচ্ছিন্ন একক চৌম্বক মেরুর অস্তিত্ব কি সম্ভব?
7. একটি লোহার পেরেক চূষক দণ্ড দ্বারা আকৃষ্ট হয়। পেরেকের গতিশক্তির উৎস কি?
8. ভূ-চৌম্বকত্বের উত্তর বা দক্ষিণ মেরুর ঠিক উপরে একটি কম্পাস রাখলে তার অভিমুখ কি হবে?
9. বিনতি কোণ কাকে বলে?
10. পৃথিবীর কোন্ স্থানে পৃথিবীর চৌম্বক প্রাবল্যের উল্লম্ব উপাংশ শূন্য হবে? [Hints: বিষুবরেখা]
11. চৌম্বক দ্বিমেরু ভ্রামক কোন্ অভিমুখে ক্রিয়া করে?

12. পরাচৌম্বক পদার্থকে কি অয়স্চৌম্বক পদার্থে পরিণত করা যায় ?

➔ বহুমুখী পছন্দের প্রশ্ন [Multiple choice type (MCQ)]

(A) নির্ভুল উত্তরটি ✓ চিহ্নিত করো :

[i] চৌম্বক বলরেখাগুলি

- (A) অসীম দূরত্বে ছেদ করে (B) কখনই ছেদ করে না
(C) চুম্বকের অভ্যন্তরে ছেদ করে (D) উদাসীন বিন্দুতে ছেদ করে।

[ii] একটি দণ্ড চুম্বকের মধ্য বিন্দু থেকে 10 cm এবং 20 cm দূরে চৌম্বক প্রাবল্যের অনুপাত 18 : 1 ; দণ্ডের চৌম্বক দৈর্ঘ্য

- (A) 24.9 cm (B) 12.65 cm (C) 29.3 cm (D) 22.65 cm

[iii] M চৌম্বক ভ্রামকযুক্ত একটি দণ্ড চুম্বককে সমান দুভাগে ভাগ করা হল। প্রত্যেক ভাগের চৌম্বক ভ্রামক হবে

- (A) M (B) $2M$ (C) $\frac{M}{2}$ (D) শূন্য।

[iv] নিম্নলিখিত চৌম্বক পদার্থগুলির ভিতর কোনটির সাহায্যে স্থায়ী চুম্বক তৈরি করা হয় ?

- (A) তিরচৌম্বক (B) অয়স্চৌম্বক (C) পরাচৌম্বক (D) নরম লোহা।

[v] কোনো স্থানে বিনতি কোন 60° । সেখানে ভূচৌম্বক ক্ষেত্রের অনুভূমিক ও উল্লম্ব উপাংশ যথাক্রমে H এবং V হলে।

- (A) $V = H$ (B) $V = \sqrt{3}H$ (C) $H = \sqrt{3}V$ (D) $V = \frac{\sqrt{3}}{2}H$ ।

[vi] চৌম্বক ক্ষেত্রে তিরচৌম্বক পদার্থকে বুলিয়ে দিলে

- (A) তা চৌম্বকক্ষেত্রের দুর্বলতর অংশ থেকে প্রবলতর অংশের দিকে ঘুরে যায়
(B) চৌম্বকক্ষেত্র দ্বারা প্রভাবিত হয় না
(C) প্রবলতর অংশ থেকে দুর্বলতর অংশের দিকে ঘুরে যায়
(D) চৌম্বক ক্ষেত্রের সঙ্গে অভিলম্বভাবে স্থাপিত করে।

[vii] সুবেদী চৌম্বক যন্ত্রকে বহিরাগত চৌম্বক ক্ষেত্র থেকে আড়াল করতে হলে যন্ত্রকে

- (A) সেগুন কাঠের বাগ্জে রাখা উচিত।
(B) প্লাষ্টিকের বাগ্জে রাখা উচিত।
(C) উচ্চ ভেদতাতা যুক্ত নরম লোহার বাগ্জে রাখা উচিত।
(D) উচ্চ পরিবাহিতার ধাতব বাগ্জে রাখা উচিত।

[viii] পরাচৌম্বক পদার্থের চৌম্বক ভেদ্যতা এবং বায়ুর চৌম্বক ভেদ্যতার অনুপাত

- (A) 1-এর সামান্য বেশী।
(B) 1-এর সামান্য কম
(C) 1-এর সমান।
(D) 1-এর অনেক বেশী।

[ix] অচুম্বকিত পদার্থের একটি টুকরোকে শক্তিশালী চুম্বকের কাছে আনলে পদার্থটি বিকর্ষিত হয়ে যায়। পদার্থটি

- (A) পরাচৌম্বক (B) অয়স্চৌম্বক (C) অচৌম্বক (D) তিরচৌম্বক

[x] 7 cm ব্যাস এবং 24 পাকযুক্ত একটি বৃত্তাকার কুন্ডলীতে 0.75A প্রবাহ যাচ্ছে। কুন্ডলীর চৌম্বক ভ্রামক

- (A) $6.9 \times 10^{-2} \text{ Am}^2$ (B) $2.3 \times 10^{-2} \text{ Am}^2$
(C) 10^{-3} Am^2 (D) 10^{-2} Am^2

[xi] M চৌম্বক ভ্রামক বিশিষ্ট L দৈর্ঘ্যের কোন চুম্বকিত তারকে অর্ধবৃত্তাকারে বাঁকালে তার চৌম্বক ভ্রামক হবে।

- (A) πM (B) $\frac{\pi}{M}$ (C) $\frac{2M}{\pi}$ (D) $\frac{3M}{\pi}$ ।

[xii] যে স্থানে ভূচৌম্বক ক্ষেত্রের উল্লম্ব উপাংশের মান শূন্য সেস্থানের বিনতি কোণ

- (A) 45° (B) 90° (C) 60° (D) 0.

[xiii] M চৌম্বকভ্রামকযুক্ত কোন দণ্ড চুম্বককে H সুখম চৌম্বকক্ষেত্রের সঙ্গে θ কোণে স্থাপিত করা জন্য প্রয়োজনীয় দ্বন্দ্বের ভ্রামক

- (A) $MH (1 - \cos \theta)$ (B) $MH \sin \theta$ (C) $MH \cos \theta$ (D) $MH \tan \theta$ ।

[xiv] কোন স্থানে ভূ-চৌম্বক ক্ষেত্রের উল্লম্ব উপাংশ শূন্য ?

- (A) ভৌগোলিক উত্তর মেরু (B) চৌম্বক বিষুবরেখা

- (C) ভূ চৌম্বক মেরু (D) 45° অক্ষাংশে।
- [xv] ভূচৌম্বক ক্ষেত্রের অনুভূমিক উপাংশের দরুন চৌম্বক বলরেখা
(A) স্বল্প এবং সমান্তরাল (B) উপবৃত্তাকার
(C) এককেন্দ্রিক বৃত্ত (D) বক্র রেখা।
- [xvi] 2 cm দীর্ঘ একটি দণ্ড চুম্বকের অক্ষের অভিলম্বভাবে এবং দণ্ডের দুই পাশে দণ্ড থেকে x এবং $3x$ দূরত্বে দুটি বিন্দু A এবং B নেওয়া হল। A এবং B বিন্দুতে চৌম্বক ক্ষেত্রের অনুপাত
(A) 1 : 9 (B) 2 : 9 (C) 27 : 1 (D) 9 : 1.
- [xvii] \vec{B} চৌম্বক ক্ষেত্রের ভিতর সাম্য অবস্থানে একটি চৌম্বক ধিমের স্থাপিত আছে। ধিমেরূকে 180° ঘোরালে কৃতকার্য
(A) MB (B) 2MB (C) $\frac{1}{2}MB$ (D) শূন্য।
- [xviii] এক স্থানে নতি কোণ 30° এবং ভূচৌম্বক ক্ষেত্রের অনুভূমিক উপাংশ 0.5 T. ভূচৌম্বক ক্ষেত্রের মোট প্রাবল্য
(A) $\sqrt{3}T$ (B) 1T (C) $\frac{1}{\sqrt{3}}T$ (D) $\frac{1}{2}$.
- [xix] সকল স্থানেই ভূচৌম্বক ক্ষেত্রের অনুভূমিক উপাংশ পাওয়া গেলেও ব্যতিক্রম হল
(A) ভূচৌম্বক বিষুব রেখা (B) ভূচৌম্বক মেরু
(C) 60° অক্ষাংশে (D) 90° অক্ষাংশে।
- [xx] তড়িচ্চুম্বক নির্মাণের সর্বোৎকৃষ্ট উপাদান পদার্থ হল
(A) ইস্পাত (B) তামা (C) লোহা (D) অ্যালুমিনিয়াম।
- [xxi] একটি 10 cm লম্বা চুম্বকের মেরুশক্তি 10 একক। চুম্বকটিকে একটি সুস্থ চৌম্বক ক্ষেত্রের সাথে 60° কোণ করে রাখলে উৎপন্ন টর্কের মান 639 dyne cm^{-1} । চৌম্বক ক্ষেত্রটির প্রাবল্য হল
(A) 4 Oe (B) 6 Oe (C) 9 Oe (D) 7.4 Oe. [Jt. Entrance 2006]
- [xxii] একটি চুম্বক শলাকাকে অসম চুম্বক ক্ষেত্রে রাখা হল। চুম্বকটির উপর প্রযুক্ত হবে
(A) একটি বল ও শূন্য টর্ক (B) একটি টর্ক ও শূন্য বল
(C) শূন্য বল ও শূন্য টর্ক (D) একটি বল ও একটি টর্ক। [Jt. Entrance 2006]
- [xxiii] একটি ক্ষুদ্র দণ্ড চুম্বকের মধ্যবিন্দু থেকে সমান দূরত্বের প্রান্ত ও পার্শ্ববিন্দুদ্বয়ের চৌম্বক ক্ষেত্রের প্রাবল্যের অনুপাত হবে
(A) 2 : 1 (B) 1 : 2 (C) 2 : 3 (D) 1 : 1. [Jt. Entrance 2006]
- [xxiv] একট দণ্ড চুম্বক 10 cm লম্বা ও প্রস্থচ্ছেদ 2 cm^2 । এর চৌম্বক ভ্রামক 100 cgs একক। চুম্বকন তীব্রতার মান
(A) 50 unit (B) 5 unit (C) 2.5 unit (D) 10 unit. [Jt. Entrance 2006]
- [xxv] SI এককে শূন্য চৌম্বক ভেদ্যতা
(A) $\pi \times 10^{-7}$ (B) $2\pi \times 10^{-7}$ (C) $4\pi \times 10^{-7}$ (D) $8\pi \times 10^{-7}$. [Jt. Entrance 2006]
- [xxvi] 1 cm দৈর্ঘ্য বিশিষ্ট একটি ক্ষুদ্র দণ্ড চুম্বকের বিষুবতলে চুম্বক থেকে 8 cm দূরে চৌম্বক প্রাবল্য 0.1 cgs একক হলে, চুম্বকের মেরুশক্তি কত ?
(A) 51.2 unit (B) 175 unit (C) 100 unit (D) 165.5 unit [Jt. Entrance 2006]
- [xxvii] ফ্রেমিং-এর বামহস্ত নিয়ম ব্যবহার করা হয় নির্ণয়ের জন্য
(A) তড়িৎ প্রবাহের উপর তড়িৎ প্রবাহের ক্রিয়া,
(B) চুম্বকের উপর তড়িৎ প্রবাহের ক্রিয়া,
(C) তড়িৎপ্রবাহের উপর চুম্বকের ক্রিয়া,
(D) চুম্বকের উপর চুম্বকের ক্রিয়া। [Jt. Entrance 2006]
- (B) শূন্যস্থান পূরণ করো (Fill up the blanks) :
- [i] যখন পরাচৌম্বক পদার্থকে উত্তপ্ত করে তাপমাত্রা _____ ছাড়িয়ে যায় তখন তা অয়শ্চৌম্বক পদার্থে পরিণত হয়।
- [ii] পরীক্ষা করে দেখা গেলে যে একটি দণ্ড চুম্বকের দরুন উদাসীন বিন্দু দণ্ডের অক্ষের উপর অবস্থিত। তাহলে

চৌম্বকদণ্ডের উত্তর মেরু _____ করে রাখা আছে।

- [iii] একটি ইম্পাত দণ্ডকে চুম্বকিত করার পর দেখা গেল যে দণ্ডের দুই প্রান্তই সূচি চুম্বকের উত্তর মেরুকে বিকর্ষণ করে। এ অবস্থায় দণ্ড চুম্বক _____ উল্লম্ব হয়েছে।
- [iv] একটি ক্ষুদ্র চুম্বককে বায়বীয়ভাবে চৌম্বক মধ্যরেখা বরাবর ঝুলানো আছে। চুম্বকটি _____ অথবা _____ খাড়াভাবে অবস্থান করবে।
- [v] চৌম্বক উত্তর মেরুর কোন এক স্থানে ভূচৌম্বক ক্ষেত্রের মান 0.5 T ; চৌম্বক বিবৃৎ রেখায় মান হবে _____।
- [vi] চৌম্বক নিরক্ষরেখা এবং চৌম্বক উত্তর মেরুতে একটি চুম্বক শলাকার সাম্য অবস্থান হবে _____ এবং _____।

(C) ভুল কি নির্ভুল বিচার করো (True or false type questions) :

- [i] চৌম্বক ত্র্যাক একটি ভেক্টর রাশি।
- [ii] একটি ক্ষুদ্র সৈর্য্যের দণ্ড চুম্বকের বেলাতে প্রান্তবিন্দুর প্রাবল্য সমদূরবর্তী বিদ্যুৎ বিন্দুর প্রাবল্যের অর্ধেক।
- [iii] চৌম্বক বলরেখা চুম্বকের N-মেরুতে শুরু হয় এবং S-মেরুতে শেষ হয়।
- [iv] দণ্ড চুম্বকের দূরন সব বলরেখা উদাসীন বিন্দু দিয়ে অতিক্রম করে।
- [v] পরাচৌম্বক পদার্থের কোন গোলককে চৌম্বক ক্ষেত্রে রাখলে বলরেখাগুলি বেশি পরিমাণে ঐ গোলকের ভিতর দিয়ে যেতে চেষ্টা করে।
- [vi] যে স্থানে বিনতি কোণ 45° সেখানে ভূচৌম্বক ক্ষেত্রের অনুভূমিক ও উল্লম্ব উপাংশ পরস্পরের সমান।

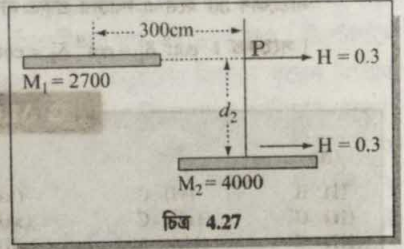
■ গাণিতিক প্রশ্ন

1. দৈর্ঘ্যযুক্ত একটি ইম্পাত তারের চৌম্বকত্র্যাক M ; তারটিকে ঝাঁকিয়ে অর্ধবৃত্তাকার করা হলে প্রমাণ করো যে এই অবস্থায় তার চৌম্বকত্র্যাক হবে $2M/\pi$ ।
2. একটি দণ্ড চুম্বকের চৌম্বক দৈর্ঘ্য 10 cm এবং চৌম্বকত্র্যাক $2\text{ A}\cdot\text{m}^2$ । চুম্বকটির মধ্যবিন্দু থেকে 15 cm দূরে কোনো অক্ষীয় বিন্দুতে চৌম্বক প্রাবল্য কত? [Ans. $1.5 \times 10^{-4}\text{ tesla}$]
3. (a) একটি ক্ষুদ্র দণ্ড চুম্বকের চৌম্বকত্র্যাক $2\text{ A}\cdot\text{m}^2$ । চুম্বকের লম্ব-দ্বিখণ্ডকের ওপর কেন্দ্র থেকে 10 cm দূরে কোনো বিন্দুতে চৌম্বক প্রাবল্য কত? [Ans. $2 \times 10^{-4}\text{ tesla}$]
(b) 0.32 একক প্রাবল্যের কোন সুস্থম চৌম্বক ক্ষেত্রে একটি চুম্বককে ক্ষেত্রের সঙ্গে 30° কোণে রাখলে যদি তার ওপর 8 একক মানের দ্বন্দ্ব আরোপিত হয়, তবে চুম্বকটির চৌম্বক ত্র্যাক নির্ণয় করো। [Ans. 50 একক]
4. একটি দণ্ড-চুম্বককে চৌম্বক মধ্যতলে অনুভূমিকভাবে দক্ষিণ মেরু উত্তরমুখী করে রাখা হল। দক্ষিণ মেরু থেকে 10 cm দূরে একটি বিন্দুতে লম্বি চৌম্বক প্রাবল্যের মান শূন্য। চুম্বকটির দৈর্ঘ্য 10 cm এবং ভূচুম্বকত্বের অনুভূমিক প্রাবল্য $0.2 \times 10^{-4}\text{ Wb/m}^2$ হলে চুম্বকের মেরুশক্তি কত? [Ans. $2.67\text{ A}\cdot\text{m}$]
5. একটি দণ্ড চুম্বকের মেরুশক্তি $3.6\text{ A}\cdot\text{m}$ এবং দৈর্ঘ্য 8 cm । (a) দণ্ডের মধ্যবিন্দু থেকে N -মেরুর দিকে অক্ষস্থিত 6 cm দূরত্বের বিন্দুতে (b) দণ্ডের লম্ব-দ্বিখণ্ডকের ওপর একই দূরত্বে ক্ষেত্রপ্রাবল্য কত? [Ans. (a) $8.6 \times 10^{-4}\text{ T}$ (b) $4.3 \times 10^{-4}\text{ T}$]
6. কোনও স্থানে বিনতি কোণ 45° এবং ভূ-চৌম্বক প্রাবল্য 0.8 একক হলে ভূ-চৌম্বক প্রাবল্যের অনুভূমিক ও উল্লম্ব উপাংশ কত? [Ans. উভয়ই 0.565 একক]
7. কোনো স্থানের চ্যুতি কোণ $30^\circ E$ এবং নতি কোণ $45^\circ N$; ঐ স্থানে ভূ-চুম্বক ক্ষেত্রের অনুভূমিক প্রাবল্য 0.3 Oe হলে, ভৌগোলিক মধ্যরেখায় অনুভূমিক প্রাবল্য এবং উল্লম্ব প্রাবল্যের মান কত? [Ans. 0.26 Oe ; 0.3 Oe]
8. কলকাতায় ভূ-চৌম্বক ক্ষেত্রের অনুভূমিক উপাংশ 0.35 Oe এবং বিনতি কোণ 30° হলে, কলকাতায় ভূ-চৌম্বক প্রাবল্যের মান এবং উল্লম্ব উপাংশের মান নির্ণয় করো। [Ans. 0.4 Oe ; 0.2 Oe]
9. কোনো স্থানে বিনতি কোণ $30^\circ S$ এবং ভূ-চৌম্বক ক্ষেত্রের অনুভূমিক প্রাবল্য 0.35 Oe হলে, ঐ স্থানের উল্লম্ব প্রাবল্য কত এবং কোন্ দিকে? চিত্রে দিক ব্যাখ্যা করো। [Ans. 0.202 Oe ; দক্ষিণ গোলাপে খাড়া নীচু দিকে]
10. কোনো স্থানে ভূ-চৌম্বক ক্ষেত্রের অনুভূমিক উপাংশ $26\text{ }\mu\text{T}$ এবং নতি কোণ 60° । ঐ স্থানে ভূ-চৌম্বক ক্ষেত্রের মোট প্রাবল্য এবং উল্লম্ব উপাংশ নির্ণয় করো। [Ans. $52\text{ }\mu\text{T}$; $45\text{ }\mu\text{T}$]
11. কোন স্থানে চৌম্বক মধ্যতলে অবশ্যে ঘূর্ণনক্ষম একটি চৌম্বক শলাকাকে তারকেন্দ্রে হতে বুলিয়ে দিলে তা অনুভূমিক তলের সঙ্গে 30° কোণে আনত অবস্থায় থাকে। আলোচ্য স্থানে ভূ-চৌম্বকত্বের অনুভূমিক উপাংশ 0.36 Oe হলে, ভূ-চৌম্বক প্রাবল্যের মান কত? [Ans. 0.416 Oe]

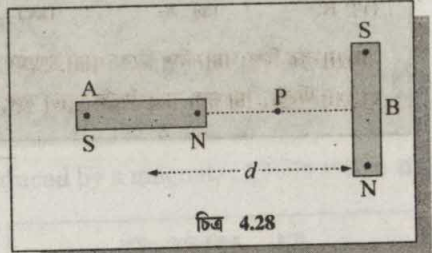
কঠিনতর গাণিতিক প্রশ্ন

- 12cm চৌম্বক দৈর্ঘ্য বিশিষ্ট এবং 25 c.g.s. মেরুর শক্তি সম্পন্ন একটি দণ্ড-চুম্বকের উত্তর মেরুকে উত্তরমুখী করে কোনও স্থানের চৌম্বক মধ্যতল বরাবর এই দণ্ড-চুম্বককে রাখা হল। এই স্থানের ভূ-চৌম্বক ক্ষেত্রের অনুভূমিক প্রাবল্য 0.3 oersted. উদাসীন বিন্দুর অবস্থান নির্ণয় করো।
[Ans. লম্বদিকগুলকের ওপর 8cm দূরে]
- একটি দণ্ড চুম্বকের নিকটবর্তী মেরু হতে 7 cm দূরে অক্ষের (প্রসারিত) ওপর উদাসীন বিন্দু পাওয়া গেল। দণ্ড-চুম্বকের মেরুদ্বয়ের ভিতরকার দূরত্ব 4 cm এবং ভূ-চৌম্বক ক্ষেত্রের অনুভূমিক প্রাবল্য 0.36 oersted। দণ্ড-চুম্বকের মেরুশক্তি নির্ণয় করো।
[J.E. Entrance 1979] [Ans. 29.65 unit]
- একটি দণ্ড-চুম্বকের দুই মেরুর পারস্পরিক দূরত্ব 10 cm এবং চৌম্বক ভ্রামক 1000 একক। দণ্ড-চুম্বকের মধ্যবিন্দু হতে 25 cm দূরে চুম্বক অক্ষের ওপর 200 মেরু শক্তির একটি উত্তর-মেরু রাখা আছে। দণ্ড-চুম্বক এই মেরুর ওপর কত বল প্রয়োগ করবে?
[Ans. 27.7 dyne]

- M_1 এবং M_2 চৌম্বকভ্রামক যুক্ত দুটি ক্ষুদ্র চুম্বককে চৌম্বক মধ্যরেখা বরাবর 4.27 নং চিত্রে যেমন দেখানো হয়েছে, এরূপভাবে রাখা আছে। $M_1 = 2700$ c.g.s. এবং $M_2 = 4000$ c.g.s. হলে d_2 কত হবে যাতে P একটি উদাসীন বিন্দু হয়? ভূ-চৌম্বক ক্ষেত্রের অনুভূমিক উপাংশ = 0.3 c.g.s.
[Ans. (i) 20 cm যখন M_1 এবং M_2 চুম্বকদ্বয়ের উত্তর-মেরু উত্তরমুখী (ii) 34.24 cm যখন M_1 চুম্বকের N -মেরু দক্ষিণমুখী কিন্তু M_2 চুম্বক N -মেরু উত্তরমুখী]



- 4.28 নং চিত্রে দুটি ক্ষুদ্র দৈর্ঘ্যের চুম্বক দণ্ড A এবং B দেখানো হয়েছে। ওদের প্রত্যেকের চৌম্বক ভ্রামক M এবং ব্যবধান d । এদের অক্ষদ্বয় পরস্পরের লম্ব। চুম্বক দুটির দূরত্বের ঠিক মধ্যবিন্দু P -তে ক্ষেত্রপ্রাবল্য নির্ণয় করো।



[Ans. $\frac{2\sqrt{5}\mu_0 M}{\pi d^3}$ এর অভিমুখ A-চুম্বকের অক্ষের

সাথে θ কোণে করলে $\tan \theta = \frac{1}{2}$]

- 30 cm দীর্ঘ একটি দণ্ড-চুম্বককে উল্লম্ব অবস্থায় একটি টেবিলের ওপর এমনভাবে রাখা আছে যে তা N -মেরু নীচের দিকে আছে। টেবিলের ওপর N -মেরু হতে 40 cm দূরে একটি উদাসীন বিন্দু পাওয়া গেল। চুম্বকটির মেরুশক্তি নির্ণয় করো। $H = 0.089$ Oe
[Ans. 112.5 c.g.s.]
- কোনো চুম্বক মেরুকে 0.4 ওরস্টেড প্রাবল্যসম্পন্ন চৌম্বক ক্ষেত্রে স্থাপন করলে ওর ওপর যে বল ক্রিয়া করে, সেই একই বল ক্রিয়া করে যদি অপর একটি অজানা মেরু থেকে এই মেরুটিকে 20 cm দূরে রাখা হয়। অজানা মেরুটির মেরুশক্তি নির্ণয় করো। দুটি ক্ষেত্রেই মাধ্যম এক।
[Ans. 160 c.g.s.]
- 900 unit চৌম্বক ভ্রামক এবং 50 unit মেরুশক্তির একটি চুম্বক শলাকাকে এরূপভাবে কীলকাবদ্ধ করা আছে যে শলাকটি অবাধে অনুভূমিক তলে ঘুরতে পারে। অনুভূমিক তলে ভূ-চৌম্বক ক্ষেত্রের প্রাবল্য 0.36 Oe। শলাকার সঙ্গে সুতা আবদ্ধ করে সুতাকে পূর্বদিকে টান দিয়ে শলাকাকে চৌম্বক মধ্যরেখা হতে 30° কোণে স্থির রাখা হয়েছে। সুতায় টান কত? শলাকার দৈর্ঘ্য কত?
[Ans. 20.78 dyne; 18 cm]
- তিনটি ছোটো চুম্বকের মধ্যবিন্দুগুলি একটি সমবাহু ত্রিভুজ ABC -এর তিনটি কোণে অবস্থিত এবং ওরা ওদের মধ্যবিন্দুর সাপেক্ষে ঘুরতে পারে। সাম্যাবস্থায় A বিন্দুর চুম্বকের দৈর্ঘ্য BC বাহুর সঙ্গে সমান্তরাল এবং B ও C বিন্দুতে অবস্থিত চুম্বকদ্বয়ের দৈর্ঘ্য যথাক্রমে AB এবং AC বাহুর সঙ্গে লম্বভাবে অবস্থিত। প্রমাণ করো যে, এই অবস্থায় B ও C বিন্দুতে অবস্থিত চুম্বকদ্বয়ের ভ্রামক সমান।
- এক স্থানে বিনতি শলাকা অনুভূমের সহিত 45° কোণ করে। শলাকার উর্ধ্বপ্রান্তে 1g ভর চাপালে বিনতি কোণ হ্রাস পেয়ে 30° হয়। কত ভর চাপালে শলাকা অনুভূমিক হবে?
[সংকেত : প্রথমবার, $2ml H \sin 45^\circ = 2ml V \cos 45^\circ$
দ্বিতীয়বার, $2ml H \sin 30^\circ + 1gl \cos 30^\circ = 2ml V \cos 30^\circ$
তৃতীয়বার, $m'gl = 2mlV$ [m' = নির্ণেয় ভর]
[Ans. 2.3 g]
- একটি বিনতি শলাকার উর্ধ্বপ্রান্তে 1g ভর চাপালে বিনতি কোণ 60° হতে হ্রাস পেয়ে 30° হয়। এই স্থানে ভূ-চৌম্বক

ক্ষেত্রের মোট প্রাবল্য 0.42 Oe হলে, শলাকার মেরুশক্তি নির্ণয় করো। $g = 980 \text{ cm/s}^2$ [Ans. 1885 unit]

12. কোন স্থানে চৌম্বক মধ্যরেখায় স্থাপিত চুম্বক-শলাকার নতি কোণ 45° ; ঐ উল্লম্ব তল 60° ঘুরিয়ে আর একটি উল্লম্ব তলে আনলে চৌম্বক-শলাকার নতি কোণ কত হবে? [Ans. $63^\circ 27'$ (প্রায়)]

13. 7.5 g ভরবিশিষ্ট একটি চুম্বক-শলাকার চৌম্বকভ্রামক 98 একক; যদি উত্তর গোলাধে চুম্বক-শলাকাকে অনুভূমিক রাখতে হয় তাহলে শলাকার ভারকেন্দ্র হতে কত দূরে তাকে বিধৃত করতে হবে? ভূ-চৌম্বক ক্ষেত্রের উল্লম্ব উপাংশ $= 0.25 \text{ Oe}$ [Ans. উত্তর মেরুর দিকে $3.33 \times 10^{-3} \text{ cm}$ দিকে]

14. এক স্থানে চৌম্বক মধ্যতলে অবাধে ঘূর্ণনক্ষম একটি চুম্বক-শলাকাকে ভারকেন্দ্র হতে ঝোলালে তা অনুভূমের সহিত 60° কোণ করে। শলাকার চৌম্বক-ভ্রামক 300 c.g.s. ; 50 mg ভর শলাকার কোথায় রাখলে, শলাকাটি অনুভূমিক থাকবে? [$H = 0.37 \text{ Oe}$] [Ans. কেন্দ্রবিন্দু থেকে 3.91 cm দূরে]

15. কোন স্থানে কেটি উল্লম্ব তলে আপাত নতি কোণ 40° এবং তার সমকোণে অপর একটি উল্লম্ব তলে আপাত নতিকোণ 30° হলে ঐ স্থানের প্রকৃত নতি কোণ কত? [Ans. $26^\circ 30'$]

[সংকেত : $\cot^2 \delta_1 + \cot^2 \delta_2 = \cot^2 \delta$; এখানে $\delta_1 = 40^\circ$ এবং $\delta_2 = 30^\circ$; $\delta = ?$]

□ M.C.Q. প্রশ্নের উত্তর □

(A)

(i) B	(vi) C	(xi) C	(xvi) C	(xxi) D	(xxvi) A
(ii) C	(vii) C	(xii) D	(xvii) B	(xxii) D	(xxvii) C
(iii) C	(viii) A	(xiii) B	(xviii) C	(xxiii) A	
(iv) B	(ix) D	(xiv) C	(xix) B	(xxiv) B	
(v) B	(x) A	(xv) A	(xx) C	(xxv) C	

(B) [i] কুরি বিন্দু; [ii] দক্ষিণ দিকে; [iii] উপমেরু; [iv] উত্তর মেরু, দক্ষিণ মেরু; [v] 0.25 T ; [vi] অনুভূমিক, উল্লম্ব

(C) [i] নির্ভুল, [ii] ভুল, [iii] নির্ভুল, [iv] ভুল, [v] নির্ভুল, [vi] নির্ভুল।

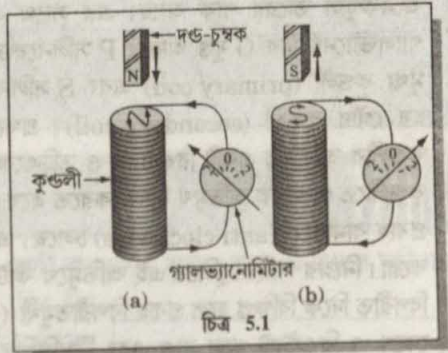
5.1. সূচনা (Introduction):

1820 খ্রিস্টাব্দে যখন ওরস্টেড চুম্বকের ওপর তড়িৎ প্রবাহের ক্রিয়া আবিষ্কার করেন এবং পরীক্ষা করে দেখান যে তড়িৎপ্রবাহ চৌম্বকক্ষেত্র সৃষ্টি করতে পারে তখন বিজ্ঞানীদের মনে কৌতূহল হল, উল্টোপথে চৌম্বকক্ষেত্র তড়িৎপ্রবাহ সৃষ্টি করতে পারে কি না? বিজ্ঞানীদের এই কৌতূহলের নিরসন করেন বিখ্যাত আবিষ্কারক মাইকেল ফ্যারাডে। 1831 খ্রিস্টাব্দে মাইকেল ফ্যারাডে তড়িচ্চুম্বকীয় আবেশ আবিষ্কার করেন। তিনি দেখতে পান একটি চুম্বক বা তড়িৎবাহী বর্তনীর সাহায্যে অন্য একটি সংহত বর্তনীতে (closed circuit) ক্ষণস্থায়ী তড়িচ্চালক বল সৃষ্টি করা যায়। এই ক্ষণস্থায়ী তড়িচ্চালক বল-কে আবিষ্ট (induced) তড়িচ্চালক বল এবং এই ঘটনাকে তড়িচ্চুম্বকীয় আবেশ বলা হয়। ফ্যারাডের এই আবিষ্কার তড়িৎ বিজ্ঞানে সুদূরপ্রসারী পরিবর্তন এনেছে, কারণ এই আবিষ্কারের ফলে জেনারেটর, ট্রান্সফরমার এবং অন্যান্য প্রয়োজনীয় তড়িৎযন্ত্রের উদ্ভাবন সম্ভব হয়েছে।

5.2. তড়িচ্চুম্বকীয় আবেশ সম্পর্কিত পরীক্ষা (Experiments to demonstrate electro-magnetic induction):

(ক) চুম্বক কর্তৃক আবিষ্ট প্রবাহ (Current induced by a magnet): 1 মিটার লম্বা ও প্রায় 5 সেন্টিমিটার ব্যাসযুক্ত কার্ডবোর্ডের একটি চোঙের ওপর 150 কি 200 পাক তামার তার জড়াও। চোঙকে খাড়াভাবে রেখে তারটির দুইপ্রান্ত একটি সুবেদী (sensitive) গ্যালভানোমিটার যন্ত্রের সাথে যুক্ত করো। তারে কোন তড়িৎপ্রবাহ নেই; কাজেই গ্যালভানোমিটারেও কোন বিক্ষেপ দেখা যাবে না। এইবার একটি দণ্ড-চুম্বক নিয়ে তার N মেরু নিম্নাভিমুখী করে তাড়াতাড়ি চোঙের ভিতর ঢুকাও। দেখবে, গ্যালভানোমিটার কাঁটার ক্ষণিক বিক্ষেপ (sudden deflection) হল [5.1 (a) নং চিত্র]। কাঁটার বিক্ষেপ প্রমাণ করল যে তারকুণ্ডলীতে তড়িৎপ্রবাহের আবেশ হল। চুম্বককে এইবার তাড়াতাড়ি চোঙ থেকে বার করে নাও। দেখবে, আবার কাঁটার ক্ষণিক বিক্ষেপ হল—উল্টো দিকে [5.1 (a) নং চিত্র]। আরও লক্ষ করবে, যতক্ষণ চুম্বক চোঙের ভিতর স্থির থাকে ততক্ষণ কোনো বিক্ষেপ হয় না; অথবা তারকুণ্ডলীতে কোন তড়িৎপ্রবাহ আবিষ্ট হয় না। চুম্বক গতিশীল হলেই কাঁটার বিক্ষেপ হয়।

যদি বেশি সংখ্যার পাকের কুণ্ডলী নিয়ে অথবা শক্তিশালী দণ্ড-চুম্বককে আরও দ্রুতগতিতে নাড়িয়ে উপরিউক্ত পরীক্ষাগুলি করা যায় তবে দেখা যায় প্রত্যেক ক্ষেত্রেই আবিষ্ট তড়িৎপ্রবাহমাত্রা বৃদ্ধি পেয়েছে।



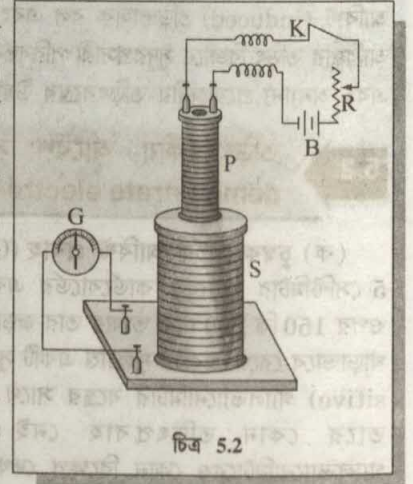
দণ্ড চুম্বকের N মেবুর পবিবর্তে যদি S-মেবু কুণ্ডলীর ভিতর ঢুকানো যায় বা কুণ্ডলী থেকে বার করে আনা যায় তাহলেও কুণ্ডলীতে ক্ষণস্থায়ী তড়িৎপ্রবাহ পাওয়া যাবে, তবে এই প্রবাহের অভিমুখ N-মেবু ব্যবহার করে যে অবিষ্ট তড়িৎপ্রবাহ পাওয়া যায় তার বিপরীত।

দণ্ড চুম্বকের দিক থেকে কুণ্ডলীকে দেখলে বিভিন্ন ক্ষেত্রে অবিষ্ট প্রবাহের অভিমুখ কীরূপ হবে তা নীচের তালিকায় দেওয়া হল।

দণ্ড-চুম্বকের মেবুর গতি	অবিষ্ট প্রবাহের অভিমুখ
1. N মেবুকে কুণ্ডলীর ভিতর প্রবেশ করানো হলে,	বামাবর্তী
2. N মেবুকে কুণ্ডলী থেকে বাইরে আনা হলে,	দক্ষিণাবর্তী
3. S মেবুকে কুণ্ডলীর ভিতরে প্রবেশ করানো হলে,	দক্ষিণাবর্তী
4. S মেবুতে কুণ্ডলী থেকে বাইরে আনা হলে,	বামাবর্তী
5. দণ্ড চুম্বককে কুণ্ডলীর ভিতর স্থির রাখলে,	কোনো প্রবাহ নেই

(খ) প্রবাহ কর্তৃক অবিষ্ট প্রবাহ (Current induced by current) : আমরা জানি, কোনো কুণ্ডলী দিয়ে তড়িৎপ্রবাহ গেলে কুণ্ডলী একটি চৌম্বকক্ষেত্র সৃষ্টি করে। সুতরাং কোনো কুণ্ডলীতে তড়িৎ প্রবাহের পরিবর্তন হলে তার চৌম্বক বলরেখার পরিবর্তন হবে এবং এই পরিবর্তন অন্য একটি নিকটবর্তী কুণ্ডলীতে আরোপিত হলে দ্বিতীয় কুণ্ডলীতেও একটি তড়িচ্চালক বল অবিষ্ট হয়। এই ঘটনা 5.2 নং চিত্রে প্রদর্শিত ব্যবস্থা দ্বারা দেখানো যেতে পারে।

P একটি সলিনয়েড। এর সাথে একটি ব্যাটারি B, একটি রিওস্ট্যাট R ও একটি টোপা চাবি K যুক্ত আছে (ছবি দেখো)। S আর একটি সলিনয়েড— আকারে P থেকে বড়ো। এতে অনেকগুলি তারের পাক আছে। এর সাথে একটি সুবদী গ্যালভানোমিটার G যুক্ত আছে। P সলিনয়েডকে বলা হয় মুখ্য কুণ্ডলী (primary coil) এবং S সলিনয়েডকে বলা হয় গৌণ কুণ্ডলী (secondary coil)। প্রথমে S গৌণ কুণ্ডলীর বর্তনীতে একটি রিওস্ট্যাট ও তড়িৎকোশ যুক্ত করে কুণ্ডলীতে প্রবাহের অভিমুখ নির্ণয় করতে হবে। মনে করো, প্রবাহ বামাবর্তে (anti-clockwise) চলছে। এখন, গ্যালভানোমিটারের কাঁটার বিক্ষেপের অভিমুখ লক্ষ্য করো। নিম্নের পরীক্ষাগুলিতে এই অভিমুখে কাঁটা বিক্ষিপ্ত হলে S কুণ্ডলীতে প্রবাহ সমমুখী (direct) এবং বিপরীত দিকে বিক্ষিপ্ত হলে প্রবাহ বিপরীতমুখী (inverse) ধরা হবে। এখন S কুণ্ডলীর বর্তনী থেকে তড়িৎ কোশ ও রিওস্ট্যাট খুলে নাও এবং নিম্নলিখিত পরীক্ষাগুলি করো।



চিত্র 5.2

(i) মুখ্য কুণ্ডলী P-তে তড়িৎ কোশের সাহায্যে বামাবর্তী তড়িৎপ্রবাহ চালিয়ে দ্রুত তাকে S কুণ্ডলীর ভিতর প্রবেশ করানো। দেখবে, S-কুণ্ডলীর সাথে যুক্ত গ্যালভানোমিটারে ক্ষণস্থায়ী বিক্ষেপ সৃষ্টি হল। বিক্ষেপের অভিমুখ লক্ষ্য করো। এই অভিমুখ হতে বোঝা যায় গৌণ কুণ্ডলী S-এ বিপরীতমুখী তড়িৎপ্রবাহ অবিষ্ট হল। এখন, মুখ্য-কুণ্ডলীকে দ্রুত গৌণ-কুণ্ডলীর ভিতর থেকে বার করে আনলে ক্ষণস্থায়ী বিপরীত বিক্ষেপ দেখা যাবে, অর্থাৎ এইবার ক্ষণস্থায়ী সমমুখী প্রবাহ অবিষ্ট হল।

(ii) মুখ্য কুণ্ডলীর চাবি K ছেড়ে দিয়ে অর্থাৎ, কুণ্ডলীতে কোনো প্রবাহ হতে না দিয়ে তাকে গৌণ কুণ্ডলীর মধ্যে বসানো। এইবার K চাবি টিপে মুখ্য কুণ্ডলীর প্রবাহ চালাও। গ্যালভানোমিটারে বিক্ষেপ হবে এবং দেখবে, গৌণ কুণ্ডলীতে ক্ষণস্থায়ী বিপরীতমুখী তড়িৎপ্রবাহ অবিষ্ট হল। যদি রিওস্ট্যাটের সাহায্যে মুখ্য কুণ্ডলীতে প্রবাহমাত্রা হঠাৎ বাড়ানো যায় তবে গৌণ কুণ্ডলীতে একই ধরনের প্রবাহ অবিষ্ট হবে।

(iii) এইবার মুখ্য কুণ্ডলীর চাবি K ছেড়ে দিয়ে প্রবাহ বন্ধ করো। সঙ্গে সঙ্গে গৌণ কুণ্ডলীতে আবার ক্ষণস্থায়ী তড়িৎপ্রবাহ যাবে, কিন্তু এই প্রবাহ সমমুখী হবে। একই ব্যাপারে দেখা যাবে যদি মুখ্য কুণ্ডলীর প্রবাহমাত্রা রিওস্ট্যাটের সাহায্যে দ্রুত কমানো যায়।

এই ঘটনাগুলি মনে রাখার জন্য তাদের নিম্নরূপ তালিকাবদ্ধ করা যেতে পারে।

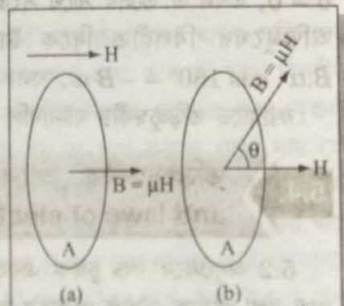
কার দ্বারা আবেশ হচ্ছে	পরীক্ষা	পর্যবেক্ষণ ও সিদ্ধান্ত
তড়িৎবাহী কুণ্ডলী কর্তৃক	(i) প্রবাহযুক্ত মুখ্য কুণ্ডলীকে দ্রুত গৌণ কুণ্ডলীর মধ্যে ঢুকালে।	(i) ক্ষণিক বিপরীতমুখী বিক্ষেপ বিপরীতমুখী প্রবাহের আবেশ।
"	(ii) প্রবাহযুক্ত মুখ্য কুণ্ডলীকে দ্রুত গৌণ কুণ্ডলীর ভিতর থেকে বার করে নিলে।	(ii) ক্ষণিক সমমুখী বিক্ষেপ— অর্থাৎ, ক্ষণিক সমমুখী প্রবাহের আবেশ।
"	(iii) মুখ্যকুণ্ডলীকে গৌণ কুণ্ডলীর ভিতর রেখে হঠাৎ প্রবাহ চালালে।	(iii) ক্ষণিক বিপরীতমুখী বিক্ষেপ অর্থাৎ ক্ষণিক বিপরীতমুখী প্রবাহের আবেশ।
"	(iv) ঐ অবস্থায় হঠাৎ প্রবাহ বন্ধ করলে।	(iv) ক্ষণিক সমমুখী বিক্ষেপ অর্থাৎ, ক্ষণিক সমমুখী প্রবাহের আবেশ।
"	(v) মুখ্য কুণ্ডলীকে গৌণ কুণ্ডলীর মধ্যে রেখে মুখ্যকুণ্ডলীর প্রবাহমাত্রা হঠাৎ বৃদ্ধি করলে।	(v) ক্ষণিক বিপরীতমুখী বিক্ষেপ— অর্থাৎ বিপরীতমুখী প্রবাহের আবেশ।
"	(vi) ঐ অবস্থায় হঠাৎ প্রবাহমাত্রা হ্রাস করলে।	(vi) ক্ষণিক সমমুখী বিক্ষেপ— অর্থাৎ, সমমুখী প্রবাহের আবেশ।
"	(vii) প্রবাহযুক্ত মুখ্যকুণ্ডলীকে গৌণ কুণ্ডলীর মধ্যে রেখে দিলে।	(vii) কোনো বিক্ষেপ হয় না— অর্থাৎ, কোনো প্রবাহের আবেশ হয় না।

5.3.

চৌম্বক প্রবাহ ও প্রবাহ ঘনত্ব (Magnetic flux and flux density) :

μ চৌম্বক ভেদ্যতার কোনো মাধ্যমে α ক্ষেত্রফলের একটি বস্তুতল A আছে। ধরো, ঐ তলের অভিলম্ব ভাবে H মানের একটি সুষম চৌম্বকক্ষেত্র কাজ করছে [চিত্র 5.3

(a)] যেহেতু মাধ্যমের চৌম্বক ভেদ্যতা μ , সেহেতু চৌম্বক আবেশ $B = \mu H$; চৌম্বকক্ষেত্রের সংজ্ঞা হতে বলা যায় ঐ মাধ্যমের প্রতি ক্ষেত্রফলের ভিতর দিয়ে অভিলম্বভাবে গত চৌম্বক বলরেখার সংখ্যা $= \mu H$ । চৌম্বক বলরেখার সংখ্যাকে বলা হয় চৌম্বক প্রবাহ ঘনত্ব এবং একে সাধারণত B অক্ষর দ্বারা প্রকাশ করা হয়। অতএব, মাধ্যমের চৌম্বক প্রবাহ ঘনত্ব $B = \mu H$; বলা বাহুল্য \vec{B} একটি ভেক্টর রাশি এবং এর একটি নির্দিষ্ট অভিমুখ আছে।



চিত্র 5.3

এখন A তলের ভিতর দিয়ে অতিক্রান্ত বলরেখার মোট সংখ্যা

$\phi = \alpha \cdot B$; ϕ -কে বলা হয় A তলের চৌম্বক প্রবাহ বা

চৌম্বক ফ্লাক্স। অতএব, চৌম্বক প্রবাহ ঘনত্ব $B = \frac{\phi}{\alpha}$.

যদি চৌম্বকপ্রবাহ ঘনত্ব B , A -তলের অভিলম্ব না হয়, তবে A তলের সাথে সংশ্লিষ্ট চৌম্বক প্রবাহ $\phi = B \cdot \alpha \cdot \cos \theta = \vec{B} \cdot \vec{\alpha}$ যেখানে θ হল \vec{B} -এর অভিমুখ এবং \vec{A} তলের অভিলম্বের ভিতরস্থ কোণ [চিত্র 5.3 (b)]।

এককসমূহ : সি. জি. এস. পদ্ধতি অনুযায়ী চৌম্বক প্রবাহের এককের নাম ম্যাক্সওয়েল (maxwell)। কোনো কুণ্ডলীতে চৌম্বক ফ্লাক্স প্রতি সেকেন্ডে যে পরিমাণে পরিবর্তিত হলে কুণ্ডলীতে 1 e.m.u. পরিমাণ তড়িচ্চালক বল আবিষ্ট হবে তাকে 1 ম্যাক্সওয়েল বলা হয়।

সি. জি. এস. পদ্ধতিতে ফ্লাক্স-ঘনত্বের বা চৌম্বক প্রবাহ ঘনত্বের একক হল ম্যাক্সওয়েল প্রতি বর্গ সেন্টিমিটার (maxwell cm^{-2})। এর অপর নাম ওরস্টেড (Oe)।

এস.আই পদ্ধতিতে চৌম্বক ফ্লাক্স বা প্রবাহের এককের নাম ওয়েবার (Wb)।

কোনো কুণ্ডলীতে চৌম্বক ফ্লাক্স প্রতি সেকেন্ডে যে পরিমাণে পরিবর্তিত হলে কুণ্ডলীতে 1 ভোল্ট তড়িচ্চালক বল আবিষ্ট হবে তাকে 1 ওয়েবার বলা হয়।

এস. আই পদ্ধতিতে ফ্লাক্স-ঘনত্বের বা চৌম্বক প্রবাহ ঘনত্বের একক হল ওয়েবার প্রতি বর্গমিটার (weber m^{-2})। এর অপর নাম টেসলা (T)। স্পষ্টত, চৌম্বকপ্রবাহ ঘনত্ব এবং পূর্বে উল্লিখিত চৌম্বক আবেশ (magnetic field induction) অভিন্ন।

□ সম্পর্ক (Relationship) :

এখন, $1 \text{ Wb} = 10^8 \text{ maxwell}$.

$$\text{আবার, } 1 \text{ T} = \frac{1 \text{ Wb}}{\text{m}^2} = \frac{10^8 \text{ maxwells}}{10^4 \text{ cm}^2} = 10^4 \text{ Oe. অথবা } 1 \text{ Oe} = 10^{-4} \text{ T.}$$

$$\begin{aligned} \text{মনে রাখবে, আবিষ্ট তড়িচ্চালক বল } e &= \frac{\text{ম্যাক্সওয়েল এককে ফ্লাক্সের পরিবর্তন}}{\text{সময় (সেকেন্ডে)}} \text{ e.m.u.} \\ &= \frac{\text{ম্যাক্সওয়েল এককে ফ্লাক্স পরিবর্তন}}{\text{সময়} \times 10^8 \text{ (সেকেন্ডে)}} \text{ volt.} \end{aligned}$$

পজিটিভ ও নেগেটিভ চৌম্বক প্রবাহ (Positive and negative flux) :

কোনো তলের ওপর অভিলম্ব দুই রকমভাবে টানা যায়। যখন ঐ অভিলম্ব B -এর অভিমুখী অর্থাৎ $\theta = 0$, তখন ঐ তলের সাথে সংশ্লিষ্ট চৌম্বক প্রবাহকে পজিটিভ ধরা হয়। আর যদি অভিলম্ব B -এর অভিমুখের বিপরীত দিকে টানা হয় অর্থাৎ $\theta = 180^\circ$, তখন চৌম্বকপ্রবাহ $\phi = B \cdot \alpha \cdot \cos 180^\circ = -B \alpha$ বলা বাহুল্য, তখন সংশ্লিষ্ট চৌম্বক প্রবাহ নেগেটিভ।

ফ্যারাডে তড়িচ্চুম্বকীয় ঘটনাবলি চৌম্বক প্রবাহের সাহায্যে ব্যাখ্যা করেছিলেন।

5.4. তড়িচ্চুম্বকীয় আবেশের ব্যাখ্যা ও সূত্রাবলি (Explanation and laws of electro-magnetic induction) :

5.2 অনুচ্ছেদে দণ্ড চুম্বক এবং তড়িৎবাহী কুণ্ডলীর সাহায্যে যে সকল তড়িচ্চুম্বকীয় ঘটনাবলির কথা বলা হয়েছে চৌম্বক প্রবাহের সাহায্যে তাদের ব্যাখ্যা এবং তা থেকে তড়িচ্চুম্বকীয় সূত্রাবলি প্রতিষ্ঠা করা যায়। সূত্রাবলিকে ফ্যারাডের সূত্রাবলি বলে।

আমরা জানি যে দণ্ডচুম্বক বলরেখা সৃষ্টি করে এবং একটি তড়িৎদ্বাহী তারকুণ্ডলী দণ্ডচুম্বকের ন্যায় আচরণ করে অর্থাৎ ঐ তারকুণ্ডলীও নিজস্ব চৌম্বক বলরেখা সৃষ্টি করে। এখন, (i) দণ্ডচুম্বকের N মেয়ুকে অথবা তড়িৎদ্বাহী তার-কুণ্ডলীকে অপর একটি বন্ধ কুণ্ডলীর দিকে এগিয়ে নিলে, তাদের বলরেখা বন্ধ কুণ্ডলীকে ছেদ করবে। যত তারা বন্ধ কুণ্ডলীর দিকে অগ্রসর হবে তত বন্ধ কুণ্ডলীর সাথে সংশ্লিষ্ট চৌম্বক প্রবাহ বৃদ্ধি পাবে। পরীক্ষার ফলে দেখা যায় যে, এই অবস্থায় বন্ধ কুণ্ডলীতে একটি তড়িৎপ্রবাহ আবিষ্ট হয়। (ii) আবার, দণ্ডচুম্বক অথবা তড়িৎদ্বাহী কুণ্ডলীকে দূরে সরিয়ে নিলে, বন্ধ কুণ্ডলীর সাথে সংশ্লিষ্ট চৌম্বক প্রবাহ হ্রাস পায়। দেখা যায়, এই অবস্থাতেও কুণ্ডলীতে একটি প্রবাহ আবিষ্ট হয়। (ii) কিন্তু দণ্ডচুম্বক অথবা তড়িৎদ্বাহী কুণ্ডলীকে বন্ধ কুণ্ডলীর ভিতর স্থির রাখলে, বন্ধ কুণ্ডলীর সাথে সংশ্লিষ্ট চৌম্বক প্রবাহের কোনো পরিবর্তন হয় না। পরীক্ষা করে দেখা যায় এই অবস্থাতে বন্ধ কুণ্ডলীতে কোনো তড়িৎপ্রবাহও আবিষ্ট হয় না। এথেকে ফারাডে সিদ্ধান্ত করেন যে, বন্ধ কুণ্ডলীতে তড়িৎপ্রবাহ আবেশের মূল কারণ হল বন্ধ কুণ্ডলীর সংশ্লিষ্ট চৌম্বক প্রবাহের পরিবর্তন। তড়িচ্চুম্বকীয় আবেশের প্রথম সূত্রস্বরূপ তিনি বলেন :

প্রথম সূত্র : কোনো বন্ধ কুণ্ডলীর সাথে সংশ্লিষ্ট চৌম্বক প্রবাহের (magnetic flux) পরিবর্তন হলে কুণ্ডলীতে তড়িচ্চালক বলের আবেশ হয় এবং কুণ্ডলী দিয়ে একটি তড়িৎপ্রবাহ যায়।

যদি দণ্ডচুম্বককে অথবা তড়িৎদ্বাহী কুণ্ডলীকে দ্রুত বন্ধ কুণ্ডলীর দিকে নিয়ে যাওয়া হয় অথবা দ্রুত দূরে সরিয়ে নেওয়া হয়, তবে বন্ধ কুণ্ডলীর আবিষ্ট প্রবাহের মাত্রা বৃদ্ধি পায়। দণ্ডচুম্বক অথবা তড়িৎদ্বাহী কুণ্ডলীর গতি মন্থর হলে আবিষ্ট প্রবাহের মাত্রা হ্রাস পায়। এখন, দণ্ডচুম্বক অথবা তড়িৎদ্বাহী কুণ্ডলীর গতি দ্রুত হলে, বন্ধ কুণ্ডলীর সাথে সংশ্লিষ্ট চৌম্বক প্রবাহ পরিবর্তনের হার (rate of change of flux) দ্রুত হয়; আবার গতি মন্থর হলে, চৌম্বক প্রবাহ পরিবর্তনের হার মন্থর হয়। পরীক্ষালব্ধ এই ফলাফল হতে ফারাডে তড়িচ্চুম্বকীয় আবেশ সংক্রান্ত দ্বিতীয় সূত্র প্রতিষ্ঠা করেন।

দ্বিতীয় সূত্র : কোনো বন্ধ কুণ্ডলীর ভিতর দিয়ে যে হারে সংশ্লিষ্ট চৌম্বক প্রবাহের পরিবর্তন হয়, আবিষ্ট তড়িচ্চালক বল অথবা আবিষ্ট তড়িৎপ্রবাহের মাত্রা তার সমানুপাতিক।

t অবকাশের পূর্বে এবং পরে কোনো বন্ধ কুণ্ডলীর প্রতি পাকের সাথে সংশ্লিষ্ট চৌম্বক প্রবাহ যদি যথাক্রমে ϕ_1 এবং ϕ_2 হয় তবে প্রতি পাকে আবিষ্ট তড়িচ্চালক বল
$$e \propto \frac{\phi_2 - \phi_1}{t} \propto \frac{d\phi}{dt} \quad [\phi = t \text{ অবকাশে চৌম্বক প্রবাহ পরিবর্তন}]$$
 যদি কুণ্ডলীতে n সংখ্যক পাক থাকে তবে কুণ্ডলীতে মোট আবিষ্ট তড়িচ্চালক বল
$$e \propto n \cdot \frac{d\phi}{dt}; \dots \dots \dots (i)$$

লক্ষ করার বিষয় যে ফারাডের সূত্র দুটি থেকে আমরা তড়িচ্চুম্বকীয় আবেশের (i) কারণ (cause) (ii) স্থায়িত্ব (duration) এবং (iii) মান (magnitude) পাই।

এইবার তড়িচ্চুম্বকীয় আবেশ সংক্রান্ত তৃতীয় সূত্রের উপস্থাপনা আলোচনা করা যাক। সলিনয়েড কুণ্ডলীতে তড়িৎপ্রবাহ গেলে কুণ্ডলী নিজে দণ্ডচুম্বকের ন্যায় ব্যবহার করে এবং তার দুই মুখে বিপরীত মেয়ুর উদ্ভব হয়। 5.2 অনুচ্ছেদে বর্ণিত পরীক্ষায় দণ্ডচুম্বককে কুণ্ডলীর ভিতর ঢোকানো এবং কুণ্ডলী থেকে বার করার সময় সলিনয়েড কুণ্ডলীতে যদিকে তড়িৎপ্রবাহ হয় তা লক্ষ করলে দেখা যায় যে, কুণ্ডলীর ওপর মুখে 5.1 নং চিত্রে যেমন দেখানো হয়েছে সেরকম মেয়ুর উদ্ভব হয়। অর্থাৎ দণ্ডচুম্বকের N মেয়ু ঢোকানোর সময় তড়িৎপ্রবাহের দরুন কুণ্ডলীর উপরের মুখে N মেয়ুর উদ্ভব হবে এবং বার করে নেবার সময় S মেয়ুর উদ্ভব হবে। যদি দণ্ড চুম্বকের N মেয়ু না ঢুকিয়ে S মেয়ু ঢুকানো হয় তবে ঢোকাবার সময় কুণ্ডলীর উপরের মুখে S মেয়ু এবং বার করে নেবার সময় N মেয়ুর উদ্ভব হবে। লক্ষ করলে দেখা যাবে বন্ধ সলিনয়েড কুণ্ডলীতে আবিষ্ট প্রবাহের দরুন ওপরের মুখে এরকম মেয়ুর উদ্ভব হচ্ছে যে দণ্ড চুম্বকের N মেয়ু বা S মেয়ুর অগ্রগমন অথবা পশ্চাদ্গমন সর্বদা বাধা পাচ্ছে।

তড়িৎদ্বাহী কুণ্ডলীর ক্ষেত্রে অনুরূপ ব্যাখ্যা দেওয়া যায়। আমরা জানি, দুটি সমান্তরাল সমপ্রবাহ পরস্পরকে আকর্ষণ করে এবং দুটি সমান্তরাল অসমপ্রবাহ পরস্পরকে বিকর্ষণ করে। এখন, তড়িৎদ্বাহী কুণ্ডলীকে বন্ধ তার-কুণ্ডলীর দিকে আগিয়ে আনলে, বন্ধ কুণ্ডলীতে যে আবিষ্ট প্রবাহ পাওয়া যায়, তার অভিমুখ দেখা যায় তড়িৎদ্বাহী কুণ্ডলীর তড়িৎপ্রবাহের অভিমুখের বিপরীত। আবার, তড়িৎদ্বাহী কুণ্ডলীকে দূরে সরিয়ে নিলে বন্ধ কুণ্ডলীতে আবিষ্ট প্রবাহের অভিমুখ তড়িৎদ্বাহী কুণ্ডলীর তড়িৎপ্রবাহের সমমুখী হতে দেখা যায়। উভয় ক্ষেত্রেই আবিষ্ট প্রবাহের অভিমুখ এমনই যে তা তড়িৎদ্বাহী কুণ্ডলীর অগ্রগমন বা পশ্চাদ্গমনকে বাধা দেবে। এই ঘটনা হতে বিজ্ঞানী ডঃ লেন্সে আবিষ্ট প্রবাহের অভিমুখ সংক্রান্ত তড়িচ্চুম্বকীয় আবেশের তৃতীয় সূত্রের উপস্থাপনা করেন। এই সূত্রকে লেন্সে সূত্র বলা হয়।

তৃতীয় সূত্র বা লেন্সে সূত্র : যে-কোনো তড়িচ্চুম্বকীয় আবেশের বেলায়, আবিষ্ট তড়িৎপ্রবাহের অভিমুখ এরূপ হবে যে, যে-কারণে প্রবাহের সৃষ্টি হয়, প্রবাহ সর্বদা সেই কারণকে বাধা দেবে।

লেন্সে সূত্রের কথা মনে রেখে আমরা পূর্বোক্ত (i) নং সমীকরণকে নিম্নলিখিতরূপে লিখতে পারি,

$$e \propto -n \cdot \frac{d\phi}{dt}; [- \text{চিহ্ন লেন্সে সূত্র বোঝায়}] \text{ অথবা, } e = -k \cdot n \cdot \frac{d\phi}{dt} \quad [k = \text{একটি ধ্রুবক}]$$

তড়িচ্চুম্বকীয় পদ্ধতিতে বিভিন্ন রাশির একক সুবিধামত নির্ধারণ করে নিলে $k = 1$ করা যেতে পারে।

$$\text{সেক্ষেত্রে, } e = -n \cdot \frac{d\phi}{dt}$$

উপরোক্ত সমীকরণ গাণিতিকভাবে তড়িচ্চুম্বকীয় আবেশ সংক্রান্ত তিনটি সূত্রকেই প্রকাশ করে। $d\phi/dt$ নেগেটিভ অর্থাৎ ফ্লাক্স পরিবর্তনের হার হ্রাস পেলে e পজিটিভ হয়। এর অর্থ এই অবস্থায় আবিষ্ট তড়িচ্চালক বল সমমুখী (direct) হয়। আবার $d\phi/dt$ পজিটিভ অথবা ফ্লাক্স পরিবর্তনের হার বৃদ্ধি পেলে e নেগেটিভ বা আবিষ্ট তড়িচ্চালক বল বিপরীতমুখী (inverse) হয়।

তড়িৎ-বর্তনীর রোধ R হলে, বর্তনীতে আবিষ্ট তড়িৎ প্রবাহ

$$i = \frac{\text{আবিষ্ট তড়িচ্চালক বল}}{\text{বর্তনীর রোধ}} = \frac{n}{R} \cdot \frac{d\phi}{dt}$$

□ EXAMPLES □

1. 100 পাক সংখ্যা এবং 20 cm ব্যাসবিশিষ্ট একটি তারকুণ্ডলীকে একটি চৌম্বকক্ষেত্রে এরকম ভাবে রাখা হল যে কুণ্ডলীর তল চৌম্বকক্ষেত্রের অভিলম্ব। চৌম্বকক্ষেত্রের প্রাবল্য 5×10^{-2} সেকেন্ডে সুষমভাবে 0.1 tesla থেকে 0.3 tesla তে পরিবর্তিত হল। এতে তার কুণ্ডলীতে কত তড়িচ্চালক বলের উদ্ভব হবে?

উঃ। কুণ্ডলীর তলের ক্ষেত্রফল $A = \pi r^2 = \pi (0.1)^2 \text{ m}^2$; পাকসংখ্যা $n = 100$ ।

মোট ফ্লাক্স পরিবর্তন $d\phi = nA (B_2 - B_1) = 100 \times (\pi \times 0.1)^2 (0.3 - 0.1) \text{ Wb}$ ।

$$\therefore \text{আবিষ্ট তড়িচ্চালক বল} = \frac{\text{ফ্লাক্স পরিবর্তন } (d\phi)}{\text{সময় } (dt)} = \frac{100 \times (\pi \times 0.1)^2 \times 0.2}{5 \times 10^{-2}} = 12.6 \text{ V}.$$

2. 100 Ω রোধ ও 100 পাকযুক্ত একটি কুণ্ডলী 1 milli-Wb শক্তিসম্পন্ন চৌম্বকক্ষেত্রে অবস্থিত। একটি 400 Ω রোধবিশিষ্ট গ্যালভানোমিটার ওই কুণ্ডলীর সাথে শ্রেণি সমবায়ে যুক্ত। যদি 1/10 সেকেন্ডে কুণ্ডলীকে বর্তমান ক্ষেত্র হতে 0.2 milli-Wb শক্তির চৌম্বকক্ষেত্রে নিয়ে যাওয়া হয়, তবে গড় তড়িচ্চালক বল ও প্রবাহমাত্রা নির্ণয় করো।

উঃ। চৌম্বক ফ্লাক্সের পরিবর্তন $(d\phi) = 1 - 0.2 = 0.8 \text{ milli Wb.} = 0.8 \times 10^{-3} \text{ Wb.}$
কুণ্ডলীতে মোট চৌম্বক ফ্লাক্সের পরিবর্তন $= (n d\phi) = 100 \times 0.8 \times 10^{-3} = 8 \times 10^{-2} \text{ Wb.}$

তড়িৎচালক বল $(e) =$ ফ্লাক্স পরিবর্তনের হার $= \left(\frac{n \cdot d\phi}{dt} \right) = \frac{8 \times 10^{-2}}{1/10} = 0.8 \text{ volt.}$

বর্তনীর মোট রোধ $(R) = 100 + 400 = 500 \Omega.$

অতএব, প্রবাহমাত্রা $= \frac{e}{R} = \frac{0.8}{500} = 1.6 \times 10^{-3} \text{ A} = 1.6 \text{ mA.}$

৩. 40 cm দীর্ঘ একটি তারকে 15 cm × 5 cm সাইজের আয়তাকার লুপে বাঁকিয়ে একটি চৌম্বক ক্ষেত্রের সমকোণে স্থাপন করা হল। চৌম্বকক্ষেত্রের ফ্লাক্স-ঘনত্ব 0.8 tesla। 0.6 সেকেন্ড অবকাশে লুপের সাইজ পরিবর্তিত হয়ে হল 10 cm × 10 cm এবং ফ্লাক্স ঘনত্ব বৃদ্ধি পেয়ে হল 1.5 tesla। লুপে আবিষ্ট তড়িৎচালক বল নির্ণয় করো।

উঃ। লুপের প্রাথমিক ক্ষেত্রফল $\alpha_1 = 15 \text{ cm} \times 5 \text{ cm} = 75 \text{ cm}^2 = 75 \times 10^{-4} \text{ m}^2$

প্রাথমিক চৌম্বক ফ্লাক্স ঘনত্ব $B_1 = 0.8 \text{ tesla}$

লুপের সহিত সংশ্লিষ্ট প্রাথমিক ফ্লাক্স $\phi_1 = B_1 \alpha_1 = 0.8 \times 75 \times 10^{-4} \text{ Wb} = 60 \times 10^{-4} \text{ Wb}$

চূড়ান্ত ক্ষেত্রফল $\alpha_2 = 10 \times 10 = 100 \text{ cm}^2 = 100 \times 10^{-4} \text{ m}^2$

” চৌম্বক ফ্লাক্স ঘনত্ব $B_2 = 1.5 \text{ tesla}$

” সংশ্লিষ্ট ফ্লাক্স $\phi_2 = B_2 \alpha_2 = 1.5 \times 100 \times 10^{-4} \text{ Wb} = 150 \times 10^{-4} \text{ Wb}$

ফ্লাক্স পরিবর্তন $(d\phi) = \phi_2 - \phi_1 = 150 \times 10^{-4} - 60 \times 10^{-4} \text{ Wb} = 90 \times 10^{-4} \text{ Wb}$

লুপে আবিষ্ট তড়িৎচালক বল $e = - \frac{d\phi}{dt} = - \frac{90 \times 10^{-4}}{0.6} \text{ volt} = -15 \text{ mV.}$

৪. একটি তারের কুণ্ডলীতে চুম্বকীয় আবেশ (ϕ) সময়ের উপর নির্ভর করে এবং $\phi = (t^3 - 2t^2 + 5) \text{ wb}$ যেখানে t সেকেন্ডে মাপা হয়। কুণ্ডলীর রোধ 10Ω হলে $t = 1$ সেকেন্ডে কুণ্ডলীর প্রবাহমাত্রা কত? কোন সময়ে তড়িৎপ্রবাহের মান সবচেয়ে বেশি হবে ও ওই মান কত?

উঃ। $\phi = t^3 - 2t^2 + 5$

∴ আবিষ্ট তড়িৎচালক বল $e = - \frac{d\phi}{dt} = - \frac{d}{dt}(t^3 - 2t^2 + 5) = -(3t^2 - 4t)$

∴ তড়িৎপ্রবাহ $i = \frac{e}{R} = \frac{-(3t^2 - 4t)}{10} \text{ A} \dots (i)$

যখন $t = 1 \text{ s}$ তখন $i = \frac{-3 + 4}{10} = 0.1 \text{ A}$

যখন প্রবাহ সর্বাপেক্ষা বেশী হয় $\frac{di}{dt} = 0$ অথবা $\frac{d}{dt} \left(\frac{4t - 3t^2}{10} \right) = 0$

অথবা $4 - 6t = 0 \therefore t = \frac{4}{6} = \frac{2}{3} \text{ s.}$

(i) নং সমীকরণে t -এর মান বসালে $i_{\text{max}} = \frac{(4 \times \frac{2}{3} - 3 \times \frac{4}{9})}{10} = \frac{1}{15} \text{ A.}$

৫ একটি পরিবাহী তারের গোলাকার কুণ্ডলী একটি চৌম্বকক্ষেত্রের অভিলম্বভাবে রাখা আছে। চৌম্বক ক্ষেত্রের মান $B = 0.05 \text{ T}$; কোনো কারণে হঠাৎ কুণ্ডলীর ব্যাসার্ধ সুবমভাবে 2 mms^{-1} হারে সংকুচিত হতে শুরু করল। কুণ্ডলীর ব্যাসার্ধ যখন 3 cm তখন কুণ্ডলীতে আবিষ্ট তড়িচ্চালক বল কত?

উঃ। ধরো, t সময়ে কুণ্ডলীর ব্যাসার্ধ হল r । ঐ মুহূর্তে কুণ্ডলীর সাথে জড়িত চৌম্বক প্রবাহ

$$\phi = \pi r^2 \cdot B. \text{ অতএব } \therefore \frac{d\phi}{dt} = 2\pi \cdot r \cdot B \cdot \frac{dr}{dt}$$

$$\text{এক্ষেত্রে } r = 3 \text{ cm} = 0.03 \text{ m}; B = 0.05 \text{ T এবং } \frac{dr}{dt} = 2 \text{ mms}^{-1} = 2 \times 10^{-3} \text{ ms}^{-1}.$$

$$\text{আবিষ্ট তড়িচ্চালক বল } e = - \frac{d\phi}{dt} = - 2 \times 3.14 \times 0.03 \times 0.05 \times 2 \times 10^{-3} \text{ volt.}$$

$$= - 18.84 \times 10^{-6} \text{ volt.}$$

$$= - 18.84 \mu\text{V.} [- \text{চিহ্ন তড়িচ্চালক বলের অভিমুখ বুঝায়}]$$

5.5.

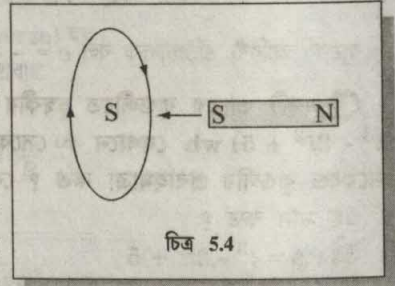
লেঞ্জের সূত্র ও শক্তির সংরক্ষণ সূত্র (Lenz's law and the law of conservation of energy):

(ক) আবিষ্ট তড়িৎপ্রবাহের অভিমুখ (Direction of induced current):

লেঞ্জ সূত্র প্রয়োগ করে কুণ্ডলীতে আবিষ্ট তড়িৎ প্রবাহের অভিমুখ নির্ণয় করা যায়।

5.4 অনুচ্ছেদে লেঞ্জের সূত্র সম্বন্ধে বলা হয়েছে, তড়িৎচুম্বকীয় আবেশের বেলায় আবিষ্ট তড়িৎপ্রবাহের অভিমুখ এরকম হবে যে, যে-কারণে প্রবাহের সৃষ্টি হয়, প্রবাহ সর্বদা সেই কারণকে বাধা দেবে।

মনে করো, একটি দণ্ড চুম্বকের S মেরুকে একটি তার-কুণ্ডলীর দিকে নেওয়া হচ্ছে [চিত্র 5.4]। তড়িচ্চুম্বকীয় আবেশের জন্য কুণ্ডলীতে একটি তড়িৎপ্রবাহের উৎপত্তি হবে। এই তড়িৎ প্রবাহের অভিমুখ এরূপ হবে যে, তা S-মেরুর অগ্রগতিকে বাধা দেবে। এটা সম্ভব যদি S মেরুর সম্মুখবর্তী কুণ্ডলীর তল (plane of the coil)-এ S-মেরুর উদ্ভব হয়, কারণ, সেক্ষেত্রে দুই সমমেরুর বিকর্ষণের দরুন চুম্বকের অগ্রগতি বাধা পাবে। সলিনয়ডের নিয়ম হতে আমরা জানি কুণ্ডলীর সম্মুখতলে S-মেরুর উৎপত্তি হতে গেলে কুণ্ডলী দিয়ে প্রবাহের অভিমুখ দক্ষিণাবর্তী (clockwise) হতে হবে। (চিত্র নং 5.4)। অতএব এক্ষেত্রে আবিষ্ট প্রবাহ দক্ষিণাবর্তী হবে; আবার দণ্ড চুম্বকের S-মেরুকে কুণ্ডলী থেকে দূরে সরিয়ে নেবার চেষ্টা করলে পুনরায় কুণ্ডলীতে তড়িৎপ্রবাহ আবিষ্ট হবে। এই প্রবাহের অভিমুখ এরূপ হবে যে দণ্ড-চুম্বকের পশ্চাদ্গমন বাধা পাবে। যদি প্রবাহের দরুন কুণ্ডলীর সম্মুখ তলে N মেরুর উদ্ভব হয় তবে বিপরীত মেরুর আকর্ষণে দণ্ড-চুম্বকের পশ্চাদ্গমন বাধা পাবে। অতএব এক্ষেত্রে আবিষ্ট প্রবাহ বামাবর্তী (anti clockwise) হবে।



চিত্র 5.4

(খ) শক্তির সংরক্ষণ সূত্র থেকে লেঞ্জ সূত্র : ধরো, উপরিউক্ত পরীক্ষায় দণ্ড চুম্বকের S-মেরুকে কুণ্ডলীর দিকে একটু চালনা করায় কুণ্ডলীতে যে তড়িৎপ্রবাহ হল তা S-মেরুর অগ্রগমনে বাধা না দিয়ে বরং সাহায্য করল। অর্থাৎ, প্রবাহের অভিমুখ এরূপ হল যে কুণ্ডলীর সম্মুখতলে N-মেরুর উৎপত্তি হল। এ অবস্থায় দুই বিয়ম মেরুর আকর্ষণে দণ্ড চুম্বক আপনা হতেই কুণ্ডলীর দিকে অগ্রসর হতে থাকবে এবং তার জন্য কোনো শক্তির প্রয়োগ প্রয়োজন হবে না। তাহলে এই ব্যবস্থার দ্বারা আমরা

কোনো শক্তি ব্যয় না করে অনন্ত গতি (perpetual motion) সৃষ্টি করতে পারি। কিন্তু শক্তির সংরক্ষণ সূত্র অনুযায়ী এটা কোনোমতেই সম্ভব নয়। সুতরাং কুণ্ডলীর প্রবাহ-অভিমুখ এরূপ হতে পারে না যাতে কুণ্ডলীর সম্মুখ তলে N মেবুর উৎপত্তি হয়—সুতরাং কুণ্ডলীর প্রবাহ দক্ষিণাবর্তী হয়ে S মেবুর উদ্ভব করবে এবং দণ্ড-চুম্বকের অগ্রগতিকে বাধা দেবে।

অনুরূপভাবে, দণ্ড চুম্বক কুণ্ডলী হতে দূরে সরিয়ে নিলে তড়িৎ-চুম্বকীয় আবেশের জন্য কুণ্ডলীতে প্রবাহের অভিমুখ এরূপ হতে পারে না যা দণ্ড চুম্বকের গতিকে সাহায্য করে, কারণ, সেক্ষেত্রে দণ্ড-চুম্বক আপনা হতেই ক্রমবর্ধমান বেগে দূরে সরে যেতে থাকবে। অর্থাৎ এক্ষেত্রে কুণ্ডলীতে প্রবাহ বামাবর্তী হয়ে কুণ্ডলীর সম্মুখতলে S মেবুর পরিবর্তে N মেবুর গঠন করবে এবং তা দণ্ড চুম্বকের গতিকে বাধা দেবে। এইভাবে, শক্তির সংরক্ষণ সূত্র হতে আমরা লেন্স সূত্রের যথার্থতা প্রমাণ করতে পারি।

5.6. স্বাবেশ (Self inductance) :

যখন কোনো কুণ্ডলীর ভিতর দিয়ে তড়িৎপ্রবাহ যায়, তখন কুণ্ডলী একটি চৌম্বকক্ষেত্র উৎপন্ন করে এবং ঐ চৌম্বক ক্ষেত্রের বলরেখা কুণ্ডলীর সাথে জড়িয়ে পড়ে। সুতরাং বলা যায় ঐ কুণ্ডলীতে তড়িৎপ্রবাহ শুরু হবার সময়, কুণ্ডলী সহসা নিজস্ব চৌম্বক বলরেখার সাথে জড়িত হয়। সময়ের সাথে প্রবাহমাত্রা পরিবর্তন করলে, কুণ্ডলীর সাথে জড়িত ফ্লাক্সেরও পরিবর্তন হবে। ফলে, কুণ্ডলীতে একটি ক্ষণস্থায়ী বিপরীত তড়িচ্চালক বল আবিষ্ট হয়ে প্রবাহমাত্রার বৃদ্ধিতে বাধা জন্মায়।

আবার, কুণ্ডলীর প্রবাহমাত্রা বন্ধ করলে, কুণ্ডলীর সাথে জড়িত নিজস্ব বলরেখাগুলি সহসা অপসারিত হয় অর্থাৎ কুণ্ডলীর সাথে জড়িত বলরেখার পুনরায় পরিবর্তন ঘটে। তখন আবার, কুণ্ডলীতে একটি ক্ষণস্থায়ী বিপরীত তড়িচ্চালক বল আবিষ্ট হয়ে প্রবাহমাত্রার অবলুপ্তি বিলম্বিত করে।

এই প্রক্রিয়াকে বলা হয় স্বাবেশ। কুণ্ডলীর নিজের প্রবাহের দ্বারা কুণ্ডলীর সাথে সংশ্লিষ্ট নিজস্ব ফ্লাক্সের পরিবর্তন হয়ে তড়িচ্চালক বলের আবেশ হয় বলে এই ঘটনার নামকরণ করা হয়েছে 'স্বাবেশ'।

সংজ্ঞা : তড়িৎ বর্তনীর যে-ধর্মের ফলে ঐ বর্তনী প্রবাহমাত্রার পরিবর্তনের বিরুদ্ধে বাধার সৃষ্টি করে তাকে স্বাবেশ ধর্ম (self induction) বলে এবং ঐ ঘটনাকে বলা হয় স্বাবেশ (self-inductance)। স্বাবেশযুক্ত বর্তনীকে বলা হয় আবেশ বর্তনী (inductive circuit)।

5.7. স্বাবেশাঙ্ক এবং তার একক (Coefficient of self-induction and its units) :

কোনো তড়িৎবাহী কুণ্ডলীর সাথে জড়িত চৌম্বক বলরেখার সংখ্যা অবশ্যই তার তাৎক্ষণিক প্রবাহমাত্রার সমানুপাতিক হবে। কোনো মুহূর্তে কুণ্ডলীর প্রবাহমাত্রা i এবং ঐ কুণ্ডলীর সাথে জড়িত চৌম্বক বলরেখার সংখ্যা (অথবা, চৌম্বক ফ্লাক্স) ϕ হলে,

$$\phi \propto i \text{ অথবা, } \phi = Li \dots \dots (i)$$

এখানে L একটি ধ্রুবক যার মান কুণ্ডলীর আকার, প্রস্থচ্ছেদ, পাক-সংখ্যা এবং পারিপার্শ্বিক মাধ্যমের ভেদ্যতার ওপর নির্ভর করে। এই ধ্রুবককে কুণ্ডলীর স্বাবেশাঙ্ক বলা হয়। স্পষ্টত, $i = 1$ হলে $L = \phi$ হবে।

কোনো কুণ্ডলী দিয়ে একক মাত্রার প্রবাহ গেলে, কুণ্ডলীর সাথে জড়িত মোট চৌম্বক বলরেখাকে ঐ কুণ্ডলীর স্বাবেশাঙ্ক বলা হয়।

আবার (i) নং সমীকরণকে সময়ের (t) সাপেক্ষে ডিফারেন্সিয়েট করলে পাই, $\frac{d\phi}{dt} = L \frac{di}{dt}$

এখন, আবিষ্ট তড়িচ্চালক বল, $e = -\frac{d\phi}{dt} = -L \frac{di}{dt} \dots (ii)$

ঋণাত্মক চিহ্ন বোঝায় যে কুণ্ডলীতে আবিষ্ট তড়িচ্চালক বল সর্বদা প্রবাহমাত্রা পরিবর্তনের বিরুদ্ধে কাজ করে; অর্থাৎ প্রবাহমাত্রা বৃদ্ধি পেলে, আবিষ্ট তড়িচ্চালক বল ঐ বৃদ্ধির বিরোধিতা করবে; আবার প্রবাহমাত্রা হ্রাস পেতে থাকলে, তা ঐ হ্রাসেরও বিরোধিতা করবে।

এখন, $\frac{di}{dt} = 1$ হলে, (ii) সমীকরণ হতে পাই, $e = -L$

এথেকে আমরা স্বাবেশোজ্জের এক বিকল্প সংজ্ঞা পাই।

সংজ্ঞা : কোনো কুণ্ডলীতে একক হারে প্রবাহমাত্রার পরিবর্তন হলে, কুণ্ডলীতে যে তড়িচ্চালক বল আবিষ্ট হবে তাকে সংখ্যাগতভাবে (numerically) ঐ কুণ্ডলীর স্বাবেশোজ্জ বলে।

একক (Units) :

(ক) পরম একক (Absolute unit) : উপরের (ii) নং সমীকরণে $\frac{di}{dt} = 1 \text{ emu s}^{-1}$ এবং $e = 1 \text{ e.m.u.}$ হলে, $L = 1 \text{ e.m.u.}$ কোনো বর্তনীতে প্রতি সেকেন্ডে 1 emu হারে প্রবাহমাত্রার পরিবর্তন হলে, যদি 1 emu তড়িচ্চালক বল আবিষ্ট হয়, তবে ঐ বর্তনীর স্বাবেশোজ্জ 1 e.m.u.

(খ) ব্যবহারিক অথবা এস্. আই একক (Practical or S. I. unit) :

উপরের (ii) নং সমীকরণে $\frac{di}{dt} = 1 \text{ ampere s}^{-1}$ এবং $e = 1 \text{ volt}$ হলে $L = 1 \text{ henry}$; কোন বর্তনীতে প্রতি সেকেন্ডে 1 ampere হারে প্রবাহমাত্রার পরিবর্তন হলে যদি 1 volt তড়িচ্চালক বল আবিষ্ট হয়, তবে ঐ বর্তনীর স্বাবেশোজ্জ 1 henry। এটা স্বাবেশোজ্জের ব্যবহারিক এবং এস্. আই একক।*

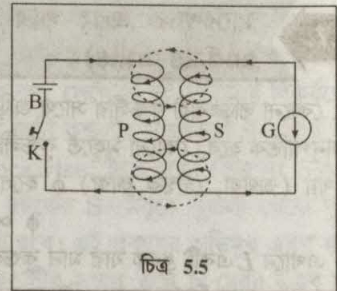
হেনরি এককের ভগ্নাংশ নিম্নরূপ :

$10^3 \text{ milli henry} = 1 \text{ henry}$ এবং $10^6 \text{ microhenry} = 1 \text{ henry (H)}$

তাহাড়া $1 \text{ henry} = 10^9 \text{ সি. জি. এস্. পরম একক (ই. এম. ইউ)}।$

5.8. পারস্পরিক আবেশ (Mutual induction) :

P এবং S কয়েক পাকের দুটি তারকুণ্ডলী পরস্পরের কাছাকাছি রাখা আছে। [চিত্র 5.5]। P কুণ্ডলীর সাথে শ্রেণি সমবায়ে একটি ব্যাটারি B এবং চাবি K যুক্ত। এই কুণ্ডলীকে সাধারণত মুখ্য কুণ্ডলী (primary coil) বলে উল্লেখ করা হয়। S-কুণ্ডলীর সাথে একটি সুবেদী গ্যালভ্যানোমিটার যুক্ত। এই কুণ্ডলীকে বলা হয় গৌণ কুণ্ডলী (secondary)। K চাবি টিপে মুখ্য কুণ্ডলীতে (P) প্রবাহ চালু করলে দেখা যাবে, S গৌণকুণ্ডলীর গ্যালভ্যানোমিটারে একটি ক্ষণিক বিক্ষেপ (sudden deflection) হল। যে অবকাশে P মুখ্য কুণ্ডলীর প্রবাহমাত্রা স্থির মানে পৌঁছায় শুধু সেই অবকাশেই গ্যালভ্যানোমিটারে বিক্ষেপ ঘটে; তার পর কাঁটা প্রাথমিক অবস্থানে ফিরে আসে। এর কারণ নিম্নরূপ :



চিত্র 5.5

যখন মুখ্য কুণ্ডলীতে তড়িৎপ্রবাহ চালু করা হয়, তখন একটি চৌম্বক ক্ষেত্রের সৃষ্টি হয় এবং ঐ ক্ষেত্রের বলরেখা S-গৌণ কুণ্ডলীর সাথে আংশিক জড়িত হয়ে পড়ে। [চিত্রে কাটাকাটা লাইন দিয়ে

*S.I পদ্ধতিতে স্বাবেশোজ্জের একক হয় ওয়েবার/অ্যাম্পিয়ার [(i) নং সমীকরণ] অথবা (ii) নং সমীকরণ থেকে হয় ভোল্ট-সেকেন্ড/অ্যাম্পিয়ার। এই দুয়ের পরিবর্তে স্বাবেশোজ্জের একককে একটি বিশেষ নাম দেওয়া হয়েছে — হেনরি (H)।

দেখানো হয়েছে। S-কুণ্ডলীর সাথে চৌম্বক ফ্লাক্সের সংযুতির ফলে তড়িৎ চুম্বকীয় আবেশের নিয়মানুযায়ী ঐ কুণ্ডলীতে একটি তড়িচ্চালক বল আবিষ্ট হয়। এতে গৌণ কুণ্ডলীতে একটি তড়িৎপ্রবাহ হয়ে গ্যালভ্যানোমিটারের বিক্ষেপ উৎপন্ন করে।

এবার অকস্মাৎ K চাবি ছেড়ে মুখ্য কুণ্ডলী P-এর প্রবাহ বন্ধ করলে, পুনরায় গ্যালভ্যানোমিটারে একটি ক্ষণিক বিক্ষেপ দেখা যাবে কিন্তু প্রথম বিক্ষেপের সাপেক্ষে এই বিক্ষেপ হবে বিপরীতমুখী। এর কারণ, প্রবাহ বন্ধ করে দিলে, গৌণ কুণ্ডলী S-এর সাথে আগে থেকে জড়িত বলরেখাগুলি সহসা অপসারিত হয়। তাতে S-কুণ্ডলীতে পুনরায় একটি বিপরীতমুখী তড়িচ্চালক বলের আবেশ হয়ে গ্যালভ্যানোমিটারে উল্টো বিক্ষেপ উৎপন্ন করে।

লক্ষণীয় যে P ও S কুণ্ডলীদ্বয় পরস্পর বিনিময়যোগ্য, অর্থাৎ P কুণ্ডলীর বদলে S কুণ্ডলীতে ব্যাটারি যুক্ত করে একই হারে তড়িৎপ্রবাহ পরিবর্তন করলে, P কুণ্ডলীতে একই তড়িচ্চালক বল আবিষ্ট হবে। এই কারণে এই ঘটনাকে ‘পারস্পরিক আবেশ’ বলা হয়। আরও লক্ষণীয় যে P এবং S কুণ্ডলীর ভিতর কোনো সাক্ষাৎ (direct) বৈদ্যুতিক সংযোগ নেই ; P-কুণ্ডলীর তড়িৎপ্রবাহ যে চৌম্বকক্ষেত্র সৃষ্টি করে তাই কুণ্ডলী দুটির পারস্পরিক সংযোগ ঘটায়।

সংজ্ঞা : একটি কুণ্ডলীর প্রবাহমাত্রার পরিবর্তন করে নিকটবর্তী অপর একটি বন্ধ কুণ্ডলীতে ক্ষণস্থায়ী তড়িৎপ্রবাহ উৎপন্ন করার উপরোক্ত ঘটনাকে পারস্পরিক আবেশ (mutual induction) বলা হয়।

5.9. পারস্পরিক আবেশাঙ্ক এবং তার একক (Coefficient of mutual induction and its units) :

মুখ্য কুণ্ডলীতে তড়িৎপ্রবাহ চালু থাকলে তা থেকে চৌম্বক বলরেখা নির্গত হবে। ঐ বলরেখাগুলির কিছু অংশ গৌণ কুণ্ডলীকে অতিক্রম করবে। S গৌণ কুণ্ডলীর মধ্য দিয়ে অতিক্রান্ত বলরেখার সংখ্যা অবশ্যই P মুখ্য কুণ্ডলীর প্রবাহমাত্রার সমানুপাতিক হবে। P মুখ্য কুণ্ডলীর তড়িৎপ্রবাহমাত্রা যখন i , তখন S গৌণ কুণ্ডলীর সাথে জড়িত চৌম্বক বলরেখার মোট সংখ্যা অথবা চৌম্বক ফ্লাক্স ϕ হলে,

$$\phi \propto i \text{ অথবা } \phi = Mi \dots (i)$$

এখানে M একটি ধ্রুবক যার মান কুণ্ডলীদ্বয়ের আকার, প্রস্থচ্ছেদ, পাক-সংখ্যা, আপেক্ষিক অবস্থান ও গৌণ কুণ্ডলীর ভিতরস্থ মাধ্যমের ভেদ্যতার ওপর নির্ভর করে। এই ধ্রুবকটিকে কুণ্ডলীদ্বয়ের পারস্পরিক আবেশাঙ্ক বলা হয়।

স্পষ্টত $i = 1$ হলে, $\phi = M$

● একটি কুণ্ডলীর ভিতর দিয়ে একক মাত্রার তড়িৎপ্রবাহ গেলে কুণ্ডলীতে যে চৌম্বক ফ্লাক্স জড়িত হয়, তাকে কুণ্ডলীদ্বয়ের পারস্পরিক আবেশাঙ্ক বলা হয়।

আবার (i) নং সমীকরণকে সময়ের (t) সাপেক্ষে ডিফারেন্সিয়েট করলে পাই, $\frac{d\phi}{dt} = M \cdot \frac{di}{dt}$

এখন, আবিষ্ট তড়িচ্চালক বল $e = - \frac{d\phi}{dt} = -M \cdot \frac{di}{dt} \dots (ii)$

ঋণাত্মক চিহ্ন বোঝায় যে দুই কুণ্ডলীর প্রবাহের অভিমুখ বিপরীত।

এখন $\frac{di}{dt} = 1$ হলে, (ii) নং সমীকরণ হতে পাই, $e = -M$.

এথেকে আমরা পারস্পরিক আবেশাঙ্কের একটি বিকল্প সংজ্ঞা পাই।

সংজ্ঞা : মুখ্য কুণ্ডলীতে একক হারে তড়িৎপ্রবাহমাত্রার পরিবর্তন হলে, গৌণ কুণ্ডলীতে যে তড়িচ্চালক বলের আবেশ হয়, সংখ্যাগতভাবে (numerically) তাই হবে কুণ্ডলীদ্বয়ের পারস্পরিক আবেশাঙ্ক।

একক (Units) :**(ক) পরম একক (Absolute unit) :**

(ii) নং সমীকরণে $\frac{di}{dt} = 1 \text{ emu s}^{-1}$ এবং $e = 1 \text{ emu}$ হলে $M = 1 \text{ emu}$

মুখ্য কুণ্ডলীতে প্রতি সেকেন্ডে 1 emu হারে তড়িৎপ্রবাহমাত্রায় পরিবর্তন হলে, অপর কুণ্ডলীতে যদি 1 emu তড়িচ্চালক বল আবিষ্ট হয়, তবে তাদের পারস্পরিক আবেশাঙ্ক 1 emu।

(খ) ব্যবহারিক এবং এস্. আই. একক (Practical and S. I unit) :

(ii) নং সমীকরণে $\frac{di}{dt} = i \text{ ampere s}^{-1}$ এবং $e = 1 \text{ volt}$ হলে, $M = 1 \text{ henry}$.

মুখ্য কুণ্ডলীতে প্রতি সেকেন্ডে 1 ampere হারে তড়িৎপ্রবাহমাত্রার পরিবর্তন হলে অপর কুণ্ডলীতে যদি 1 volt তড়িচ্চালক বল আবিষ্ট হয় তবে তাদের পারস্পরিক আবেশাঙ্ক 1 henry। এটা পারস্পরিক আবেশাঙ্কের ব্যবহারিক এবং এস্. আই. একক।

● **M-এর সর্বাধিক এবং সর্বনিম্ন মান :** M-এর মান সর্বাধিক হয় যখন মুখ্য কুণ্ডলী এবং গৌণ কুণ্ডলী পরস্পরের সমান্তরাল হয় কারণ তখন মুখ্য কুণ্ডলী থেকে নির্গত চৌম্বক বলরেখাগুলি প্রায় পরিপূর্ণভাবে গৌণ কুণ্ডলীর সাথে জড়িত হয়ে পড়ে; আবার M-এর মান সর্বনিম্ন হয় যখন মুখ্য কুণ্ডলী এবং গৌণ কুণ্ডলী পরস্পরের লম্ব অবস্থানে থাকে। তখন মুখ্য কুণ্ডলী থেকে নির্গত বলরেখার প্রায় কোনো অংশই গৌণ কুণ্ডলীর সাথে জড়িত হয় না।

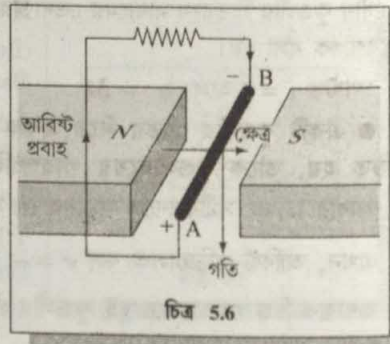
5.10.

চৌম্বক ক্ষেত্রে ঋজু পরিবাহীর গতির দরুন আবিষ্ট তড়িচ্চালক বল (E.M.F induced in a linear conductor moving in a magnetic field) :

তড়িচ্চুম্বকীয় আবেশ দ্বারা কোনো পরিবাহীতে তড়িচ্চালক বলের সৃষ্টি করা যায় তিন রকম উপায়ে : (i) পরিবাহীকে স্থির রেখে চৌম্বকক্ষেত্রের পরিবর্তন করে (ii) চৌম্বকক্ষেত্রের প্রাবল্য স্থির রেখে পরিবাহীকে অথবা পরিবাহীর কোনো অংশকে চৌম্বক ক্ষেত্রের ভিতর গতিশীল করে এবং (iii) পরিবর্তনীয় চৌম্বকক্ষেত্রের মধ্যে পরিবাহীকে অথবা পরিবাহীর কোনো অংশকে গতিশীল করে—

অর্থাৎ প্রথম এবং দ্বিতীয় পদ্ধতির সংমিশ্রণের দ্বারা। উক্ত প্রত্যেক ক্ষেত্রেই পরিবাহীর সাথে সংশ্লিষ্ট চৌম্বকফ্লাক্সের পরিবর্তন হবে এবং পরিবাহীতে তড়িচ্চালক বলের আবেশ হবে। এ পর্যন্ত আমরা প্রথম পদ্ধতির কথা আলোচনা করেছি। এবার, দ্বিতীয় পদ্ধতির সম্বন্ধে আলোচনা করব।

AB একটি ঋজু পরিবাহী। একটি চুম্বকের দুটি মেরুখণ্ড (pole pieces) N-S কর্তৃক উৎপন্ন স্থির চৌম্বকক্ষেত্রে একে রাখা হয়েছে এবং চৌম্বক বলরেখার অভিলম্ব দিকে গতিশীল করা হয়েছে। চৌম্বক বলরেখা N-মেরু হতে S-মেরুর দিকে অনুভূমিক ভাবে গেছে এবং পরিবাহী দণ্ড AB তাদের অতিক্রম করে ওপর-নীচে গতিশীল আছে [চিত্র 5.6]।



চিত্র 5.6

চৌম্বকক্ষেত্রের অভিলম্বে AB পরিবাহী খাড়া নীচের দিকে গতিশীল হলে তা চৌম্বক বলরেখা ছেদ করবে। এতে পরিবাহীর সাথে সংশ্লিষ্ট বলরেখার সংখ্যা অর্থাৎ চৌম্বক প্রবাহের (magnetic flux) পরিবর্তন ঘটবে। তড়িচ্চুম্বকীয় আবেশের সূত্রানুযায়ী পরিবাহীতে B হতে A অভিমুখে একটি তড়িচ্চালক বল কাজ করবে এবং তিরচিহ্নের পথে আবিষ্ট তড়িৎপ্রবাহ চলবে।

পরিবাহীর গতি যদি বিপরীত দিকে অর্থাৎ খাড়া ওপরের দিকে হয় তবে আবিষ্ট তড়িচ্চালক বলের অভিমুখ উল্টে যাবে এবং তার দরুন বহির্বর্তনীতে তড়িৎপ্রবাহের অভিমুখও উল্টে যাবে। চৌম্বক ক্ষেত্রে পরিবাহীর গতির দ্বারা এইরূপ আবিষ্ট তড়িচ্চালক বলের সৃষ্টি করা বৈদ্যুতিক জেনারেটরের মূলনীতি। পরিবাহী দণ্ড যদি বলরেখার সমান্তরালে গতিশীল হয়, তাহলে কোনো তড়িচ্চালক বলের আবেশ হয় না।

● **আবিষ্ট তড়িচ্চালক বলের মূল উৎস (Origin of induced e.m.f.) :** আমরা জেনেছি যে, (i) পরিবাহীকে বা পরিবাহীর অংশকে স্থির রেখে চৌম্বক ক্ষেত্রের ভিতর গতিশীল করে তড়িচ্চালক বলের সৃষ্টি করা যায়। এই দুই পদ্ধতিতে অবশ্য তড়িচ্চালক বল সৃষ্টির কৌশল (mechanism) আলাদা।

ধর, l দৈর্ঘ্যের একটি সরু দণ্ড \vec{v} স্থির গতিবেগ নিয়ে \vec{B} চৌম্বক ক্ষেত্রের ভিতর গতিশীল আছে [চিত্র 5.7]। দণ্ডের দৈর্ঘ্য চৌম্বক ক্ষেত্রের অভিলম্ব এবং গতিবেগ \vec{v} দণ্ডের দৈর্ঘ্য এবং চৌম্বক ক্ষেত্র

উভয়েরই অভিলম্ব। দণ্ডের স্বাধীন ইলেকট্রনগুলি একই গতিবেগ \vec{v} নিয়ে দণ্ডের সাথে গতিশীল থাকে। উপরন্তু ইলেকট্রনগুলির স্বাভাবিক এলোমেলো (random) গতিবেগ \vec{v} থাকেই। এলোমেলো গতিবেগের দরুন গড় চৌম্বক বল হবে শূন্য। সুতরাং, প্রতি মুহূর্ত ইলেকট্রনের উপর

চৌম্বক ক্ষেত্র কর্তৃক প্রযুক্ত বল $\vec{F}_v = q \vec{v} \times \vec{B}$ যেখানে $q =$ প্রতি ইলেকট্রনের তড়িতাধান ($-1.6 \times 10^{-19} \text{C}$)। এই বলের অভিমুখ AB বরাবর ; কাজেই মুক্ত ইলেকট্রনগুলি B এর দিকে অগ্রসর হয়। ফলে,

B প্রান্তে নেগেটিভ এবং A প্রান্তে পজিটিভ আধানের সমাবেশ হতে থাকে। দণ্ডের ভিতর তখন A থেকে B এর দিকে একটি স্থির তড়িৎক্ষেত্র (E) সৃষ্টি হয়। এই ক্ষেত্র প্রত্যেক মুহূর্ত ইলেকট্রনের উপর আর একটি

বল \vec{F}_e প্রয়োগ করে যার মান $\vec{F}_e = q \vec{E}$ হয় ; দণ্ডের দুই প্রান্তে পজিটিভ ও নেগেটিভ আধানের

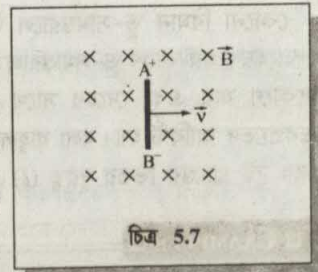
সমাবেশ চলতে থাকে ততক্ষণ না $F_v = F_e$ হয় অর্থাৎ $|q \vec{v} \times \vec{B}| = |q \vec{E}|$ অথবা $vB = E$ হয়।

এরপর আর AB দণ্ডের স্বাধীন ইলেকট্রনগুলির উপর কোন লব্ধ বল ক্রিয়া করে না এবং A এবং B বিন্দুর ভিতর বিভব-প্রভেদ দাঁড়ায় $V = E.l = vBl$

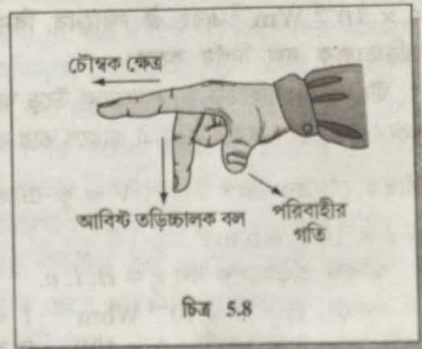
অতএব, গতিশীল মুক্ত ইলেকট্রনগুলির উপর কার্যরত চৌম্বক বল উক্ত বিভব প্রভেদ বজায় রাখে এবং একটি তড়িচ্চালক বল $e = vBl$ এর উৎপত্তি করে। পরিবাহী দণ্ডের গতির জন্য উক্ত তড়িচ্চালক বল উৎপন্ন হয় বলে, একে গতিয় তড়িচ্চালক বল (motional e.m.f.) বলে।

● **আবিষ্ট তড়িচ্চালক বলের অভিমুখ : ফ্রেমিং-এর ডানহাত নিয়ম :** চৌম্বক ক্ষেত্রে ঋজু পরিবাহীর গতি বর্তনীতে যে তড়িচ্চালক বলের উদ্ভব করে তার অভিমুখ ফ্রেমিং-এর ডান হাত নিয়ম প্রয়োগ করে পাওয়া যায়। নিয়মটি নিম্নরূপ :

ডানহাতের প্রথম তিনটি আঙ্গুল পরস্পরের সাথে সমকোণে রেখে প্রসারিত করো [চিত্র 5.8]। যদি তর্জনী (fore-finger) চৌম্বকক্ষেত্রের অভিমুখী হয় এবং কুখাঙ্গুলি (thumb) পরিবাহীর গতির অভিমুখী হয়, তবে মধ্যমা (middle finger) আবিষ্ট তড়িচ্চালক বলের



চিত্র 5.7



চিত্র 5.8

অভিমুখ নির্দেশ করবে।

● আবিষ্ট তড়িচ্চালক বলের মান : ধরো $N-S$ চুম্বক [চিত্র 5.8] যে চৌম্বক প্রবাহ ঘনত্ব উৎপন্ন করে তা B ; দণ্ডের দৈর্ঘ্য l এবং খাড়া উর্ধ্বমুখী গতিবেগ v হলে, এক সেকেন্ডে দণ্ড যে ক্ষেত্রফল (area) উৎপন্ন করে তা $v.l$; কাজেই প্রতি সেকেন্ডে দণ্ডের সাথে সংশ্লিষ্ট চৌম্বক প্রবাহ $\frac{d\phi}{dt} = B \times$ প্রতি সেকেন্ডে ক্ষেত্রফলের পরিবর্তন $= B \times v \times l$.

এখন, তড়িচ্চুম্বকীয় আবেশ সূত্রানুযায়ী, দণ্ডে আবিষ্ট তড়িচ্চালক বল, $e = \frac{d\phi}{dt} = B.l.v$

B, l , এবং v রাশিগুলিকে c.g.s পদ্ধতিতে প্রকাশ করলে e ই. এম. ইউ (e.m.u) এককে প্রকাশিত হবে। আবার ঐ রাশিগুলিকে S.I. পদ্ধতিতে প্রকাশ করলে e ভোল্টে প্রকাশিত হবে। AB পরিবাহীর সাথে কোনো বর্তনী যুক্ত থাকলে বর্তনী দিয়ে তড়িৎপ্রবাহ ঘটবে। বর্তনীর মোট রোধ R হলে, প্রবাহমাত্রা $i = B.l.v/R$.

কোনো বিমান ভূ-সামন্তরালে উড়ে যাবার সময় তার ডানার দুই প্রান্ত-বিন্দুর মধ্যে বিভবপ্রভেদ উৎপন্ন হয়। এর কারণ ভূ-সামন্তরাল গতির দরুন বিমানের ধাতব দেহ ভূ-চৌম্বক ক্ষেত্রের উল্লম্ব উপাংশের সমকোণে যায় এবং দেহের সাথে সংশ্লিষ্ট ভূ-চৌম্বক প্রবাহের পরিবর্তন হয়। ফলে ডানার দুপ্রান্তে বিভবপ্রভেদ আবিষ্ট হয়। বলা বাহুল্য, এই বিভবপ্রভেদ (i) ভূ-চৌম্বক ক্ষেত্রের উল্লম্ব উপাংশ (B) (ii) ডানার দুই প্রান্তের ভিতর দূরত্ব (l) এবং (iii) বিমানের গতিবেগ (v) এর ওপর নির্ভর করে।

□ EXAMPLES □

1. 1.2 m দীর্ঘ ধাতব স্পোকযুক্ত একটি চক্র $5 \times 10^{-5} \text{ Wbm}^{-2}$ চৌম্বক ক্ষেত্রে অবিরত ঘুরছে। চৌম্বকক্ষেত্র চক্রের তলের অভিলম্ব। স্পোকের দুই প্রান্তে 10^{-2} volt বিভবপ্রভেদ উৎপন্ন হলে চক্র প্রতি সেকেন্ড কতবার আবর্তন করছে তা নির্ণয় করো।

উঃ। $e = \frac{d\phi}{dt} = B \times$ প্রতি সেকেন্ড ক্ষেত্রফলের পরিবর্তন।

যদি প্রতি সেকেন্ড আবর্তন সংখ্যা n হয় তবে ক্ষেত্রফলের পরিবর্তন $= n \times \pi r^2 = n \times \pi \times (1.2)^2 \text{ m}^2$.

$$\therefore 10^{-2} = 5 \times 10^{-5} \times n \times \pi \times (1.2)^2$$

$$\text{অথবা, } n = \frac{10^{-2}}{5 \times 10^{-5} \times \pi \times (1.2)^2} = 44.2 \text{ rev s}^{-1}.$$

2. ধাতু নির্মিত একটি উড়োজাহাজের ডানার দুই প্রান্তীয় বিন্দুর দূরত্ব 5 m. উড়োজাহাজটি 360 kmh^{-1} বেগে ভূ-সামন্তরাল উড়ে যাচ্ছে। চতুর্দিকস্থ ভূ-চৌম্বক ক্ষেত্রের মান $4 \times 10^{-4} \text{ Wbm}^{-2}$ এবং ঐ স্থানের বিনতি কোনো 30° হলে, ডানার দুই প্রান্তে আবিষ্ট তড়িচ্চালক বল নির্ণয় করো।

উঃ। উড়োজাহাজটি ভূ-সামন্তরাল উড়ে যাচ্ছে বলে তা ভূ-চৌম্বক ক্ষেত্রের উল্লম্ব উপাংশের দরুন বলরেখাকে ছেদ করবে এবং ঐ কারণে তার ডানার দুই প্রান্তে তড়িচ্চালক বল আবিষ্ট হবে। এখন ভূ-

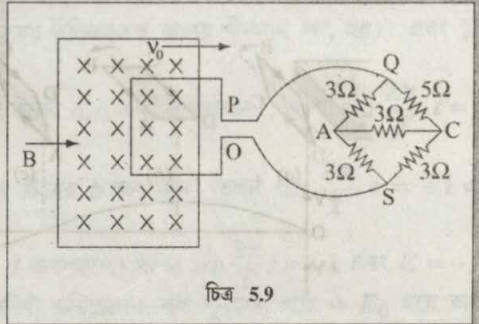
$$\text{চৌম্বক ক্ষেত্রের উল্লম্ব উপাংশ } V = \text{ভূ-চৌম্বক ক্ষেত্রের প্রাবল্য} \times \sin 30^\circ = 4 \times 10^{-4} \times \frac{1}{2} = 2 \times 10^{-4} \text{ Wb m}^{-2}.$$

আবিষ্ট তড়িচ্চালক বল $e = B.l.v$.

এখানে, $B = 2 \times 10^{-4} \text{ Wbm}^{-2}$; $l = 5 \text{ m}$ এবং $v = 360 \text{ kmh}^{-1} = 100 \text{ ms}^{-1}$.

$$\therefore e = 2 \times 10^{-4} \times 5 \times 100 = 0.1 \text{ volt}.$$

৩। প্রতি বাহু 10 cm দীর্ঘ এরূপ একটি বর্গাকার ধাতব তারকে $B = 2 \text{ weber m}^{-2}$ সুস্থম চৌম্বক ক্ষেত্রের ভিতর দিয়ে v_0 স্থির বেগে টেনে নেওয়া হচ্ছে [চিত্র 5.9]। তারের রোধ 1Ω । চৌম্বক ক্ষেত্রের বলরেখাগুলি বর্গাকার তারের তলের অভিলম্ব। তারের সাথে সংযুক্ত আছে একটি রোধ-সমবায় (network of resistors) যার প্রত্যেকটি রোধের মান 3Ω । PQ এবং OS সংযোগী তার দুটির রোধ খুবই নগণ্য। বর্গাকার তারে 1 mA প্রবাহ উৎপন্ন করতে হলে তাকে কত বেগে টেনে নিতে হবে?



চিত্র 5.9

উঃ। A Q C S রোধ-সমবায়ের প্রত্যেকটি রোধ 3Ω হওয়ায়, এটি ব্যালাল্ড হুইটস্টোন

ব্রিজের ন্যায় ব্যবহার করবে এবং AC বাহুতে কোনো প্রবাহ যাবে না। ফলে, সমবায়ের তুল্য রোধ

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{6} + \frac{1}{6} = \frac{1}{3} \text{ অথবা } R = 3 \Omega;$$

অতএব, বর্তনীর মোট রোধ $= 3 + 1 = 4 \Omega$

যেহেতু তারে 1 mA ($= 10^{-3} \text{ A}$) প্রবাহ যাবে, সেহেতু বর্তনীর বিভবপ্রভেদ $= 4 \times 10^{-3} \text{ volt}$ । তারের গতির জন্য তারের সঙ্গে সংশ্লিষ্ট চৌম্বক ফ্লাক্সের যে পরিবর্তন হবে সেটাই উপরোক্ত বিভবপ্রভেদ সৃষ্টি করবে।

এখন, চৌম্বক ফ্লাক্সের পরিবর্তনের দরুন সৃষ্ট বিভবপ্রভেদ $= B \cdot l \cdot v$

এখানে, $B = 2 \text{ Wbm}^{-2}$; $l = 10 \text{ cm} = 0.1 \text{ m}$; $v = v_0$

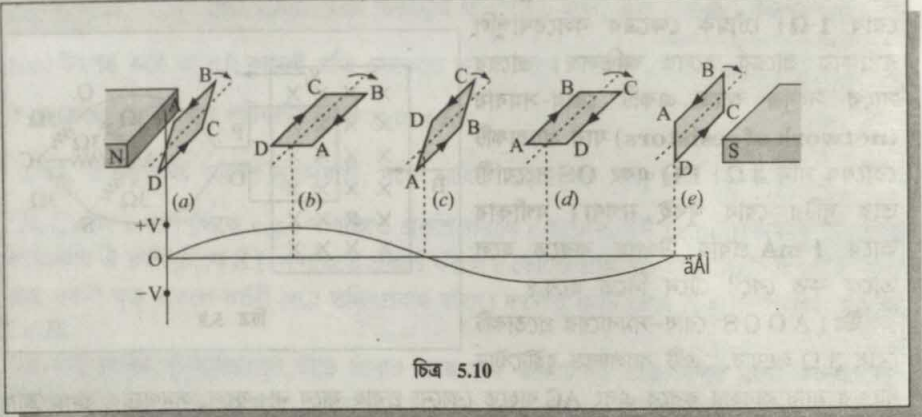
বিভবপ্রভেদ $= 2 \times 0.1 \times v_0 \text{ volt}$.

অতএব, $2 \times 0.1 \times v_0 = 4 \times 10^{-3}$ অথবা, $v_0 = 2 \times 10^{-2} \text{ ms}^{-1} = 2 \text{ cm s}^{-1}$.

5.11 পরিবর্তী প্রবাহ (Alternating current):

কোনো ব্যাটারির দুই প্রান্তের সাথে রোধক যুক্ত করা হলে রোধকের ভিতর দিয়ে তড়িৎপ্রবাহ ঘটে। এই প্রবাহের একটি নির্দিষ্ট অভিমুখ থাকে। প্রবাহ ব্যাটারির পজিটিভ প্রান্ত হতে নির্গত হয়ে রোধকের ভিতর দিয়ে ব্যাটারির নেগেটিভ প্রান্তে পৌঁছায়। তাছাড়া, তড়িৎপ্রবাহের সময় প্রবাহের মান প্রায় স্থির থাকে। এই ধরনের প্রবাহকে ডি. সি. প্রবাহ বলে। যদি রোধকের ভিতর দিয়ে অথবা বর্তনীর বিশেষ কোনো অংশের ভিতর দিয়ে তড়িৎপ্রবাহের অভিমুখ একমুখী না হয়ে নির্দিষ্ট অবকাশ অন্তর অভিমুখ পরিবর্তন করে— অর্থাৎ যে সময়ব্যাপী যেভাবে নির্দিষ্ট অভিমুখে প্রবাহিত হয়, ঠিক একই সময়ব্যাপী একইভাবে বিপরীত দিকে প্রবাহিত হয়, তবে সেই প্রবাহকে বলা হয় পরিবর্তী প্রবাহ। তাছাড়া, ডি. সি. প্রবাহ যতক্ষণ বর্তনীতে প্রবাহিত হয় ততক্ষণ প্রবাহের মান স্থির (constant) থাকে, কিন্তু পরিবর্তী প্রবাহের মান একটি নির্দিষ্ট সময় অন্তর সর্বাধিক ও সর্বনিম্ন মানের ভিতর পরিবর্তিত হয়। অর্থাৎ নির্দিষ্ট সময় অন্তর পরিবর্তী প্রবাহের মানের পুনরাবৃত্তি ঘটে। এই নির্দিষ্ট সময়কে পরিবর্তী প্রবাহের পর্যায়কাল (time-period) বলা হয়। পর্যায়কালের এক অর্ধে প্রবাহ পজিটিভ এবং পরবর্তী অর্ধে নেগেটিভ। কোনো স্থির চৌম্বকক্ষেত্রে একটি বন্ধ তারকুণ্ডলী সমকৌণিক বেগে আবর্তন করতে থাকলে কুণ্ডলীতে এরূপ পরিবর্তী তড়িচ্চালক বল আবিষ্ট হয়। কীভাবে পরিবর্তী প্রবাহ উৎপন্ন হয়, আমরা এখন তার আলোচনা করব।

5.10 নং চিত্রে চৌম্বকক্ষেত্রে অবিরত ঘূর্ণায়মান একটি কুণ্ডলীর বিভিন্ন অবস্থা দেখানো হয়েছে। যখন ABCD কুণ্ডলীর তল উল্লম্ব [চিত্র (a)] তখন তাতে কোনো তড়িচ্চালক বল আবিষ্ট হয় না। কুণ্ডলী যতই



চিত্র 5.10

তির চিহ্নের দিকে ঘুরে (b) অবস্থানে আসতে থাকে তত তা বেশি পরিমাণে চৌম্বক বলরেখা ছেদ করে এবং কুণ্ডলীতে আবিষ্ট তড়িচ্চালক বলের পরিমাণও তত বাড়তে থাকে। সম্পূর্ণ 90° ঘুরে যখন ABCD কুণ্ডলীর তল অনুভূমিক হয় [চিত্র (b)] তখন আবিষ্ট তড়িচ্চালক বলের মানও সর্বাধিক হয়। আরও ঘুরে ABCD কুণ্ডলী (c) অবস্থানের দিকে যেতে আরম্ভ করলে সংশ্লিষ্ট চৌম্বক বলরেখার সংখ্যা কমতে থাকে; ফলে কুণ্ডলীর আবিষ্ট তড়িচ্চালক বলও হ্রাস পেতে থাকে; কুণ্ডলী (c) অবস্থানে পৌঁছোলে অর্থাৎ কুণ্ডলীর তল পুনরায় উল্লম্ব হলে, তড়িচ্চালক বলের মান শূন্য হয়; সুতরাং দেখা গেল যে আর্মেচার কুণ্ডলীর আবর্তনের এক অর্ধে, তড়িচ্চালক বল শূন্য মান হতে বৃদ্ধি পেয়ে সর্বোচ্চ হয় এবং পরে আবার ধীরে ধীরে কমে শূন্য হয়।

আবর্তনের অপরাধে কুণ্ডলী যখন (d) অবস্থানের দিকে যেতে থাকে তখন তার তড়িচ্চালক বলের অভিমুখ উল্টে যায়। 5.10 নং চিত্র লক্ষ্য করলে দেখা যাবে যে (b) অবস্থানে AB বাহুতে তড়িচ্চালক বলের অভিমুখ এবং (d) অবস্থানে ঐ বাহুতে তড়িচ্চালক বলের অভিমুখ পরস্পরের বিপরীত। বলা বাহুল্য, এই সকল অভিমুখ ফ্রেমিং-এর দক্ষিণ-হস্ত নিয়ম প্রয়োগ করলে পাওয়া যাবে। ABCD কুণ্ডলী যখন আবর্তনের দ্বিতীয়ার্ধে (d) অবস্থানে আসে, তখন তা পুনরায় সর্বাধিক চৌম্বক বলরেখাকে ছেদ করে এবং বিপরীতমুখী তড়িচ্চালক বলের মান সর্বোচ্চ হয়। তার পর কুণ্ডলী যত (e) অবস্থানের দিকে যেতে থাকে, আবিষ্ট তড়িচ্চালক বলের মান তত কমতে থাকে। কুণ্ডলী যতক্ষণ চৌম্বক ক্ষেত্রে আবর্তন করবে, তড়িচ্চালক বলের এই পরিবর্তন-চক্র (cycle of changes) বারবার সম্পাদিত হবে।

5.10 নং চিত্রের তলায় তড়িচ্চালক বলের এই পরিবর্তন লেখচিত্রের সাহায্যে দেখানো হয়েছে। লেখ হতে বোঝা যায় যে তড়িচ্চালক বল পরিবর্তী (alternating) অর্থাৎ তড়িচ্চালক বল পরিবর্তনশীল এবং পর্যায়ক্রমে বিপরীতমুখী। কুণ্ডলীর সাথে যুক্ত কোনো বহিবর্তনী থাকলে, এই পরিবর্তী তড়িচ্চালক বল ঐ বর্তনীতে পরিবর্তী প্রবাহের (alternating current) উৎপত্তি করবে।

সংজ্ঞা : যে প্রবাহ (অথবা যে তড়িচ্চালক বল) পর্যায়ক্রমে অভিমুখ পরিবর্তন করে এবং একটি নির্দিষ্ট সময়-অবকাশে (time interval) একটি নির্দিষ্ট পরিবর্তন চক্রের মধ্য দিয়ে যায়, তাকে পরিবর্তী প্রবাহ (অথবা পরিবর্তী তড়িচ্চালক বল) বলে।

যে সময় অবকাশে উক্ত পরিবর্তন চক্রের পুনরাবৃত্তি ঘটে তাকে পরিবর্তী প্রবাহের (অথবা তড়িচ্চালক বলের) পর্যায়কাল বলে এবং এক সেকেন্ড যতবার পরিবর্তন চক্রের পুনরাবৃত্তি ঘটে সেই সংখ্যাকে কম্পাঙ্ক বলে।

● পরিবর্তী তড়িচ্চালক বল বা প্রবাহের সমীকরণ :

এরূপ পরিবর্তী তড়িচ্চালক বলকে নিম্নলিখিত সমীকরণ দ্বারা প্রকাশ করা যেতে পারে : $E =$

$E_0 \sin \frac{2\pi t}{T}$. এক্ষেত্রে $E =$ যে-কোনো মুহূর্তে (অর্থাৎ t মুহূর্তে) বর্তনীর তড়িচ্চালক বল; $E_0 =$ বর্তনীর সর্বোচ্চ তড়িচ্চালক বল (একে অনেক সময় তড়িচ্চালক বলের শীর্ষমান বলা হয়।) এবং $T =$ পরিবর্তী তড়িচ্চালক বলের পর্যায়কাল।

যখন $t = 0, T/2$ অথবা T (অর্থাৎ 5.10 নং চিত্রের a, c , এবং e অবস্থান), তখন, $\sin \frac{2\pi}{T} t = 0$ অথবা, $E = 0$.

আবার যখন $t = T/4$ (অর্থাৎ 5.10 নং চিত্রের b অবস্থান) তখন $\sin \frac{2\pi}{T} t = +1$ এবং $E = +E_0$

যখন $t = 3T/4$ (অর্থাৎ, 5.10 নং চিত্রের d অবস্থানে) তখন $\sin \frac{2\pi}{T} t = -1$ এবং $E = -E_0$.

অতএব কুণ্ডলীর একবার পূর্ণ আবর্তনে আবিষ্ট তড়িচ্চালক বল শূন্যমান হতে $+E_0$ হয়ে আবার শূন্যমান পায় এবং পরে অভিমুখ বিপরীত করে শূন্যমান হতে $-E_0$ হয়ে পুনরায় শূন্যমান পায়। অভিমুখ এবং মান এভাবে পরিবর্তিত হতে থাকলে, তড়িচ্চালক বলকে পরিবর্তী তড়িচ্চালক বল বলা হয়।

উপরিউক্ত পরিবর্তী তড়িচ্চালক বল কোনো বর্তনীতে প্রযুক্ত হলে, বর্তনী দিয়ে একটি পরিবর্তী তড়িৎ প্রবাহ যাবে এবং ঐ তড়িৎ-প্রবাহকে তড়িচ্চালক বলের মত সাইন-সদৃশ (sinusoidal) সমীকরণ দ্বারা প্রকাশ করা যায়। যথা, $i = i_0 \sin \frac{2\pi}{T} t$.

[দ্রষ্টব্য : পরিবর্তী বর্তনীর প্রকারভেদে, বর্তনীর তড়িচ্চালক বল এবং তড়িৎপ্রবাহের ভিতর দশাপাখ্য ক্যা বিভিন্ন হয়। কখনও বা প্রবাহমাত্রা তড়িচ্চালক বল অপেক্ষা এগিয়ে থাকে আবার কখনও বা পিছিয়ে থাকে। তাদের ভিতর দশাপাখ্য ϕ হলে তড়িৎপ্রবাহকে নিম্নলিখিত সমীকরণ দ্বারা প্রকাশ করা হয় : $i = i_0 \sin \left(\frac{2\pi}{T} t \pm \phi \right)$]

● গড় এবং আর. এম. এস. প্রবাহ (Mean and R.M.S. current) :

পরিবর্তী প্রবাহের পর্যায়কালের প্রথমার্ধে তড়িৎপ্রবাহ যে অভিমুখে যায় দ্বিতীয়ার্ধে বিপরীত দিকে প্রবাহিত হয় বলে (চিত্র 5.10) একটি পূর্ণ পর্যায়কালে গড় প্রবাহমাত্রার মান হয় শূন্য। কাজেই সাধারণ অ্যামমিটার—যা নির্দিষ্ট অবকাশে প্রবাহের গড় মান নির্দেশ করে—তার সাহায্যে পরিবর্তী প্রবাহমাত্রা পরিমাপ করার চেষ্টা করলে, কোনো ফলই পাওয়া যাবে না। পরিবর্তী প্রবাহমাত্রা পরিমাপ করতে হলে সেই ধরনের মাপনী যন্ত্র ব্যবহার করতে হবে যেগুলি তড়িৎপ্রবাহের তাপীয় ফলের ওপর ভিত্তি করে কাজ করে কারণ তড়িৎপ্রবাহের তাপীয় ফল প্রবাহের অভিমুখের ওপর নির্ভরশীল নয়।

একটি পূর্ণ পর্যায়কালে পরিবর্তী প্রবাহমাত্রার গড় মান শূন্য হলেও, প্রবাহমাত্রার বর্গের গড় মান শূন্য নয়। কোনো নির্দিষ্ট পরিবাহী দিয়ে স্থির মানের (steady) তড়িৎপ্রবাহ পাঠালে যে-হারে

* ধরো, কুণ্ডলীর ক্ষেত্রফল $= A$ এবং যে-কোনো এক সময় (t সেকেন্ডে) কুণ্ডলীর তল B চৌম্বক ক্ষেত্রের সাথে θ কোণ করে আছে। তখন কুণ্ডলীর ভিতর দিয়ে চৌম্বক প্রবাহ $= A \cdot B \cdot \cos \theta$; কুণ্ডলীর পাকসংখ্যা n হলে, মোট চৌম্বক প্রবাহ $\phi = nAB \cdot \cos \theta$.

কুণ্ডলী সমকৌণিক বেগ ω নিয়ে আবর্তন করলে $\theta = \omega t$; কাজেই, t সেকেন্ডে কুণ্ডলীর সহিত জড়িত চৌম্বক প্রবাহ $\phi = nAB \cdot \cos \omega t$ ফ্যারাডের সূত্রানুযায়ী চৌম্বক প্রবাহের পরিবর্তনের দরুন কুণ্ডলীতে আবিষ্ট তড়িচ্চালক বল

$$E = -\frac{d\phi}{dt} = -\frac{d}{dt} (nAB \cos \omega t)$$

$$= -nAB \frac{d}{dt} (\cos \omega t) = nAB \omega \cdot \sin \omega t$$

$$\text{কুণ্ডলীর আবর্তনের পর্যায়কাল } T \text{ হলে, } \omega = \frac{2\pi}{T} \therefore E = nAB \omega \cdot \sin \frac{2\pi}{T} t = E_0 \sin \frac{2\pi}{T} t$$

$$[E_0 = nAB \omega = \text{আবিষ্ট তড়িচ্চালক বলের সর্বোচ্চ মান}]$$

তাপের উদ্ভব হয় তা এই একই পরিবাহী দিয়ে কোনো পরিবর্তী প্রবাহ পাঠালে তাপ উৎপাদনের গড় হারের সমান হলে এই পিছরমানের তড়িৎপ্রবাহমাত্রাকে উক্ত পরিবর্তী প্রবাহের কার্যকর মান অথবা গড় বর্গের বর্গমূল মান (root mean square অথবা r.m.s.) বলা হয়।

কোনো পূর্ণ চক্রের বিভিন্ন সময়কার তড়িচ্চালক বল বা প্রবাহের বর্গ নিয়ে তাদের গড় নির্ধারণ করার পর এই গড়মানের বর্গমূল নিলে গড়বর্গের বর্গমূল মান পাওয়া যায়। যদি পরিবর্তী তড়িৎপ্রবাহ ও পরিবর্তী তড়িচ্চালক বলকে যথাক্রমে $I = I_0 \sin \frac{2\pi t}{T}$ এবং $E = E_0 \sin \frac{2\pi t}{T}$ দ্বারা প্রকাশ করা হয় তবে প্রমাণ করা যায় যে,

$$\text{গড় প্রবাহ } I_{av} = \frac{2I_0}{\pi} = \frac{2}{\pi} \times \text{তড়িৎপ্রবাহের শীর্ষমান (} I_0 \text{)}$$

$$\text{গড় তড়িচ্চালক বল } E_{av} = \frac{2}{\pi} \times \text{তড়িচ্চালক বলের শীর্ষমান (} E_0 \text{)}$$

$$\text{আর.এম.এস প্রবাহ } I_{rms} = \frac{I_0}{\sqrt{2}} = \frac{1}{\sqrt{2}} \times \text{তড়িৎপ্রবাহের শীর্ষমান}$$

$$\text{আর.এম.এস তড়িচ্চালক বল } E_{rms} = \frac{E_0}{\sqrt{2}} = \frac{1}{\sqrt{2}} \times \text{তড়িচ্চালক বলের শীর্ষমান}$$

● পরিবর্তী প্রবাহ একমুখী প্রবাহ (d.c.) অপেক্ষা বেশি বিপজ্জনক কেন ?

কোনো পরিবর্তী প্রবাহ বর্তনীতে (alternating current circuit) তড়িচ্চালক বল বা প্রবাহমাত্রার উল্লেখ করলে সর্বদা তাদের গড় বর্গবেগের বর্গমূল মানকেই বুঝানো হয়। যেমন, 220 ভোল্ট পরিবর্তী তড়িচ্চালক বল বললে তা তড়িচ্চালক বলের গড় বর্গের বর্গমূল মান বোঝাবে। তার শীর্ষমান $E_0 = \sqrt{2} \times 220 = 311$ ভোল্ট। এথেকে বোঝা যায় যে—কোনো 220 volt a.c. হতে পাওয়া শক্ 220 volt d.c. হতে পাওয়া শক্ অপেক্ষা অনেক বেশি বিপজ্জনক। 220 volt d.c. যে শক্ দেবে তা 220 volt দ্বারাই হবে—তার বেশি নয়। কিন্তু 220 volt a.c. এর শীর্ষমান 311 volt হওয়ায় এর দরুন শক্ হবে 311 volt দ্বারা। মানুষের পক্ষে এটি অধিকতর বিপজ্জনক।

দূরবর্তী স্থানে তড়িৎশক্তি প্রেরণের বেলায় পরিবর্তী প্রবাহ নানাকারণে সুবিধাজনক প্রমাণিত হয়েছে। তাই, বিস্তৃত পরিসরে তড়িৎশক্তি উৎপাদনের ক্ষেত্রে বর্তমানে শতকরা প্রায় 90 ভাগই পরিবর্তী প্রবাহ উৎপাদন করা হচ্ছে।

5.12.

একমুখী প্রবাহ ও পরিবর্তী প্রবাহের মধ্যে তুলনা (Comparison between direct current and alternating current):

পরিবর্তী প্রবাহ (A.C)

1. পরিবর্তী প্রবাহের মান ও অভিমুখ সময়ের সঙ্গে পরিবর্তিত হয়।
2. একটি নির্দিষ্ট সময় অন্তর পরিবর্তী প্রবাহের অভিমুখ বারবার বিপরীত হয়।
3. পরিবর্তী প্রবাহের মান একটি নির্দিষ্ট সময় অন্তর শূন্য হয়।
4. পরিবর্তী তড়িচ্চালক বল ও প্রবাহের মধ্যে দশা-পার্থক্য থাকে ; কখনও তড়িচ্চালক বল এগিয়ে থাকে ; আবার কখনও তড়িৎ-প্রবাহ এগিয়ে থাকে।

একমুখী প্রবাহ (D.C)

1. একমুখী প্রবাহের মান ও অভিমুখ সময়ের সঙ্গে পরিবর্তিত হয় না।
2. একমুখী প্রবাহের অভিমুখ সর্বদা একই দিকে থাকে।
3. বর্তনীতে একমুখী প্রবাহ চলাকালীন, প্রবাহমাত্রা কখনও শূন্য হয় না।
4. একমুখী প্রবাহ বর্তনীতে তড়িচ্চালক বল ও প্রবাহের মধ্যে কোনো দশা-পার্থক্য থাকে না ; এরা সর্বদা সমদশায় থাকে।

পরিবর্তী প্রবাহ (A.C)	একমুখী প্রবাহ (D.C)
5. পরিবর্তী প্রবাহ নিয়ন্ত্রণ করার জন্য আবেশক (inductor) বা ধারকের (capacitor) প্রয়োজন।	5. একমুখী প্রবাহ নিয়ন্ত্রণ করার জন্য ওহ্মীয় রোধ (ohmic resistor) প্রয়োজন।
6. পরিবর্তী প্রবাহ ওহ্ম সূত্র কঠোরভাবে (strictly) মেনে চলে না।	6. একমুখী প্রবাহ সর্বদা ওহ্ম সূত্র মেনে চলে।

□ EXAMPLES □

1. কোনো পরিবর্তী প্রবাহমাত্রা $i = 10 \sin (200 \pi t - \pi/15)$ দ্বারা প্রকাশ করলে, সর্বোচ্চ প্রবাহমাত্রা এবং কম্পাঙ্ক নির্ণয় করো।

উঃ। সাধারণভাবে পরিবর্তী প্রবাহকে $i = i_0 \sin \left(\frac{2\pi}{T} \cdot t \pm \phi \right)$ এই সমীকরণ দ্বারা প্রকাশ করা হয়। এক্ষেত্রে $i_0 =$ সর্বোচ্চ প্রবাহমাত্রা এবং $T =$ প্রবাহমাত্রার পর্যায়কাল।

প্রদত্ত সমীকরণকে সাধারণ সমীকরণের সাথে তুলনা করলে আমরা দেখতে পাই যে, $i_0 =$ সর্বোচ্চ প্রবাহমাত্রা $= 10 \text{ A}$ এবং $200 \pi = \frac{2\pi}{T}$ অথবা $T = \frac{1}{100} = 0.01 \text{ s}$; আবার কম্পাঙ্ক $n = \frac{1}{T} = 100 \text{ cycle s}^{-1}$.

2. $20 \text{ cm} \times 10 \text{ cm}$ ক্ষেত্রফল যুক্ত এবং 485 পাকের একটি আয়তাকার তারকুণ্ডলী 20 Wbm^{-2} প্রাবল্যের সুমম চৌম্বক ক্ষেত্রে 1800 r.p.m বেগে আবর্তন করছে। চৌম্বক ক্ষেত্রের সাথে কুণ্ডলী যখন 60° কোণ করে তখন কুণ্ডলীতে উৎপন্ন তড়িচ্চালক বল নির্ণয় করো। এক্ষেত্রে তড়িচ্চালক বলের গরিষ্ঠ এবং লঘিষ্ঠ মান কত ?

উঃ। উৎপন্ন তড়িচ্চালক বলের মান $E = nAB\omega \cdot \sin \theta$ [443 পৃষ্ঠার ফুটনোট দ্রষ্টব্য]

এখানে, $n = 485$; $A = \frac{20 \times 15}{10^4} \text{ m}^2$; $B = 20 \text{ Wbm}^{-2}$; $\omega = 2\pi \times 30 = 60\pi$

[1800 r.p.m = 30 r.p.s] এবং $\theta = 60^\circ$.

$$\therefore E = 485 \times \frac{20 \times 15}{10^4} \times 20 \times 60\pi \times \sin 60^\circ.$$

$$= \frac{485 \times 20 \times 15 \times 20 \times 60\pi \times \sqrt{3}}{2 \times 10^4} = 4.75 \times 10^4 \text{ V (প্রায়)}$$

(i) তড়িচ্চালক বল গরিষ্ঠ মান পায় যখন $\theta = 90^\circ$ অথবা $\sin \theta = 1$

$$\therefore E_{\max} = 485 \times \frac{20 \times 15}{10^4} \times 20 \times 60\pi = 5.48 \times 10^4 \text{ V.}$$

(ii) তড়িচ্চালক বল লঘিষ্ঠ মান পায় যখন $\theta = 0^\circ$ অথবা $\sin \theta = 0$

$$\therefore E_{\min} = 0.$$

3. 50 cycle/s কম্পাঙ্কযুক্ত পরিবর্তী তড়িৎপ্রবাহ বর্তনীতে গড় প্রবাহমাত্রা 45A। প্রবাহের শীর্ষমান কত ? প্রবাহ শূন্য মান পাবার $\frac{1}{100}$ সেকেন্ড পরে বর্তনীর প্রবাহমাত্রা কত ?

উঃ। গড় প্রবাহ $= \frac{2}{\pi} \times$ তড়িৎপ্রবাহের শীর্ষমান।

অথবা $45 = \frac{2}{3.14} \times I_0$ অথবা $I_0 = 70.65 \text{ A}$.

আবার, $I = I_0 \sin \frac{2\pi}{T} \cdot t = 70.65 \sin \left(2\pi \times 50 \times \frac{1}{400} \right) \text{ A}$
 $= 70.65 \sin \pi/4$
 $= 70.65 \times \frac{1}{\sqrt{2}}$
 $= 50 \text{ A}$ (প্রায়)।

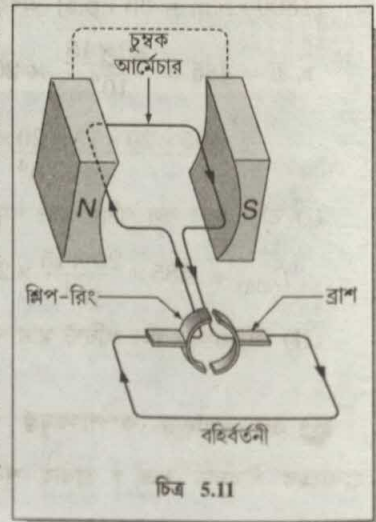
5.13. ডায়নামো (Dynamo) :

আধুনিক সভ্য জগৎ তড়িৎশক্তির ওপর নির্ভরশীল এবং বিস্তৃতক্ষেত্রে তড়িৎপ্রবাহ সরবরাহ করতে হলে ডায়নামো একান্ত অপরিহার্য বিদ্যুৎ যন্ত্র। ডায়নামো দুই প্রকারের হতে পারে : (1) অলটারনেটর (Alternator) বা A.C. ডায়নামো যা কোনো বর্তনীতে পরিবর্তী (alternating) তড়িৎপ্রবাহ সরবরাহ করে ও (2) সমপ্রবাহ (Direct current) বা D.C. ডায়নামো যা—কোনো বর্তনীতে সমতড়িৎ প্রবাহ সরবরাহ করে। ডায়নামোর আর একটি বহুল-ব্যবহৃত নাম জেনারেটর (generator)।

এই দুই যন্ত্রের মূলনীতি তড়িচ্চুম্বকীয় আবেশের ওপর প্রতিষ্ঠিত। একটি বন্ধ কুন্ডলীকে (closed coil) যদি কোনো চৌম্বকক্ষেত্রের ভিতর অবিরত ঘুরানো যায় তবে ঐ ঘূর্ণায়মান কুন্ডলীর সাথে জড়িত বলরেখার সংখ্যা সর্বদা পরিবর্তিত হবে। সুতরাং তড়িৎ-চুম্বকীয় আবেশ অনুযায়ী উক্ত কুন্ডলীতে একটি তড়িচ্চালক বল আবিষ্ট হবে। যদি ঐ কুন্ডলীর দুই প্রান্ত একটি বহির্বর্তনীর (external circuit) সাথে যুক্ত থাকে তবে ঐ বর্তনীতে পরিবর্তী তড়িৎ প্রবাহের উৎপত্তি হয়। এই পরিবর্তী তড়িৎপ্রবাহকে সমপ্রবাহে পরিণত করতে হলে কমুটোর (commutator) নামক একটি ব্যবস্থার সাহায্য নিতে হয়। উপরিউক্ত দুই রকম ডায়নামোর সংক্ষিপ্ত বিবরণ নিম্নে দেওয়া হল।

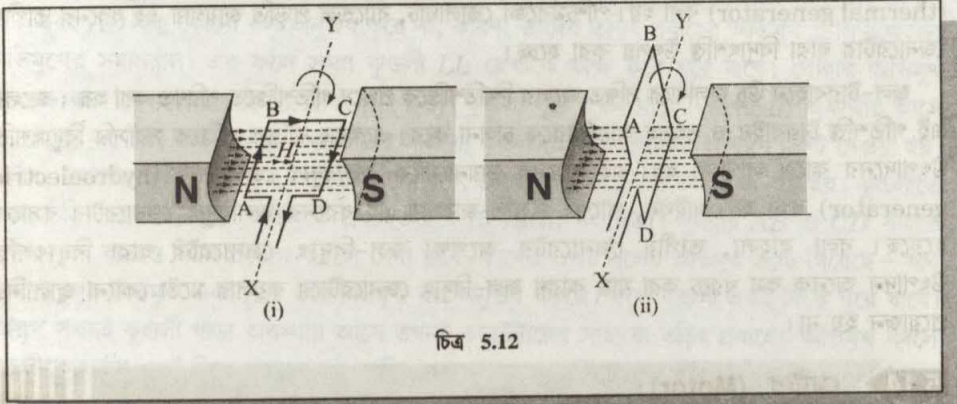
(1) A.C. ডায়নামো : 5.11 নং চিত্রে এই যন্ত্রের গঠনপ্রণালীর নকশা বুঝানো হয়েছে। একটি নরম লোহার চোঙের ওপর কয়েক পাক তামার তার জড়িয়ে আর্মেচার (armature) তৈরি করা হয়। এই আর্মেচার একটি শক্তিশালী চৌম্বকক্ষেত্রে ঘুরতে পারে। এই চৌম্বকক্ষেত্র যে চুম্বকের (N.S) সাহায্যে উৎপন্ন করা হয় তাকে ক্ষেত্রচুম্বক (field-magnet) বলে। আর্মেচার কুন্ডলীর শেষ দুই প্রান্ত ধাতু-নির্মিত দুটি আংটার (slip rings) সাথে যুক্ত। এই আংটা দুটি আর্মেচারের সাথে ঘুরতে পারে। কার্বন নির্মিত দুটি ব্রাশ (brush) এরূপভাবে রাখা হয় যে, যখন আর্মেচার ঘুরতে থাকে তখন তারা আংটার সাথে আলগাভাবে ঠেকে থাকে। এই ব্রাশ দুটির সঙ্গে বহির্বর্তনী যুক্ত করে বহির্বর্তনীতে পরিবর্তী তড়িৎ প্রবাহ সরবরাহ করা হয়।

যখন আর্মেচারকে ঘুরানো হয় তখন আর্মেচার-কুন্ডলী চৌম্বক ক্ষেত্রের বলরেখাগুলিকে ছেদ করে। তখন তড়িৎ চুম্বকীয় আবেশের নিয়মানুযায়ী কুন্ডলীতে তড়িচ্চালক বল আবিষ্ট হয়। এই আবিষ্ট তড়িচ্চালক বলের অভিমুখ কোন্ দিকে তা ফ্লেমিং-এর ডান হাত নিয়ম বা ডায়নামো নিয়ম (dynamo rule) দ্বারা নির্ণয় করা যায়।



চিত্র 5.11

মনে করো, $ABCD$ আর্মেচার কুণ্ডলী $N-S$ চুম্বক মেরুদ্বয়ের মধ্যে XY অনুভূমিক রেখাকে অক্ষ করে অবিরত ঘুরছে। ঘোরার অভিমুখ তিরচিহ্ন দিয়ে দেখানো হয়েছে। কোনো এক সময়, ধরা যাক কুণ্ডলী অনুভূমিক অবস্থায় এল [5.12(i) নং চিত্র]। এখন AB বাহু উপরের দিকে যাবে এবং CD



চিত্র 5.12

বাহু নীচের দিকে যাবে। যদি উভয় বাহুতে ফ্রেমিং-এর ডান হাত নিয়ম প্রয়োগ করা যায়, তবে দেখা যাবে, AB বাহুতে আবিষ্ট তড়িৎপ্রবাহ A থেকে B -এর দিকে অভিমুখী এবং CD বাহুতে C থেকে D -এর দিকে অভিমুখী। সুতরাং সমস্ত কুণ্ডলীর কথা বিবেচনা করলে প্রবাহ $ABCD$ অভিমুখে চলবে। এই ধরনের প্রবাহ চলবে যতক্ষণ না কুণ্ডলী উল্লম্ব (vertical) অবস্থায় আসে [5.12 (ii) নং চিত্র] এই সময় AB এবং CD বাহুদ্বয় ক্ষণিকের জন্য চৌম্বক ক্ষেত্রের সমান্তরালভাবে চলে বলে মুহূর্তের জন্য কুণ্ডলীতে কোনো প্রবাহ থাকে না। কিন্তু পরমুহূর্তে গতিজড়তার জন্য AB বাহু নীচের দিকে এবং CD বাহু উপরের দিকে যেতে শুরু করবে। পুনরায় ফ্রেমিং-এর নিয়ম প্রয়োগ করলে দেখা যাবে যে এইবার কুণ্ডলীর তড়িৎ প্রবাহের অভিমুখ উল্টে গেছে। এই উল্টো প্রবাহ চলবে যতক্ষণ না কুণ্ডলী পুনরায় উল্লম্ব অবস্থায় আসে। মনে রাখার সুবিধার জন্য বলা যেতে পারে, (i) কুণ্ডলী উল্লম্ব অবস্থা পার হলে প্রবাহের অভিমুখ উল্টে যায় এবং (ii) অনুভূমিক অবস্থায় এলে প্রবাহের মাত্রা সর্বাপেক্ষা বেশি হয়। সুতরাং একবার পূর্ণ আবর্তনের অর্ধেক সময় কুণ্ডলীতে প্রবাহ যে দিকে চলে বাকি অর্ধেক সময়ে প্রবাহ উল্টো দিকে চলে। তার ফলে বহির্বর্তনীতে তড়িৎপ্রবাহ পরিবর্তী (alternating) হয়।

পূর্বে উল্লেখ করা হয়েছে ডায়নামোতে উৎপন্ন তড়িচ্চালক বলের সর্বোচ্চ মান $E_0 = nAB\omega$ । এখানে n = আর্মেচার কুণ্ডলীর পাক সংখ্যা ; A = আর্মেচার কুণ্ডলীর ক্ষেত্রফল ; B = চৌম্বক ক্ষেত্রের প্রাবল্য এবং ω = কুণ্ডলীর ঘূর্ণনের কৌণিক বেগ (443 পৃষ্ঠার ফুট-নোট দ্রষ্টব্য)। উক্ত সম্পর্ক হতে বলা যায়,

(i) চৌম্বক ক্ষেত্রের প্রাবল্যের (B) হ্রাসবৃদ্ধির সাথে সমানুপাতে তড়িচ্চালক বলের (E_0) হ্রাসবৃদ্ধি হবে,

(ii) কুণ্ডলীর পাক সংখ্যায় (n) হ্রাসবৃদ্ধির সাথে সমানুপাতে তড়িচ্চালক বলের হ্রাসবৃদ্ধি হবে।

(iii) কুণ্ডলীর ঘূর্ণনের কৌণিক বেগের (ω) হ্রাসবৃদ্ধির সাথে সমানুপাতে তড়িচ্চালক বলের হ্রাসবৃদ্ধি হবে,

(iv) কুণ্ডলীর ক্ষেত্রফলের (A) হ্রাসবৃদ্ধির সাথে সমানুপাতে তড়িচ্চালক বলের হ্রাসবৃদ্ধি হবে।

● ডায়নামো বা জেনারেটারে শক্তির উৎস :

ডায়নামো বা জেনারেটারে যান্ত্রিক শক্তিকে তড়িৎ শক্তিতে রূপান্তরিত করা হয়। ডায়নামোর আর্মেচারকে ঘোরাবার জন্য সাধারণত স্টিম-টারবাইন (steam turbine) বা জল-টারবাইন (water turbine) ব্যবহার করা হয়। স্টিম টারবাইনে কয়লার দহনে উচ্চ চাপ ও তাপমাত্রার স্টিম উৎপন্ন করা হয় এবং

এই সিস্টেমের তাপশক্তি বা গতিশক্তি টারবাইন ও তৎসহ আর্মেচারকে চালিত করে। এক্ষেত্রে জ্বালানির (অর্থাৎ কয়লা) রাসায়নিক শক্তি প্রথমে সিস্টেমের গতিশক্তি ও পরে টারবাইন ও আর্মেচারের যান্ত্রিক শক্তিতে পরিণত হয়। এই যান্ত্রিক শক্তিই ডায়নামোর তড়িৎশক্তির উৎস। এই ধরনের ডায়নামোকে তাপীয় জেনারেটর (thermal generator) বলা হয়। পশ্চিমবঙ্গে কোলাঘাট, ব্যান্ডেল প্রভৃতি জায়গায় এই ধরনের তাপীয় জেনারেটর দ্বারা বিদ্যুৎশক্তি উৎপন্ন করা হচ্ছে।

জল-টারবাইনে উঁচু জলাধারে সঞ্চিত জলের স্থিতিশক্তিকে প্রথমে গতিশক্তিতে পরিণত করা হয় ; জলের এই গতিশক্তি টারবাইন ও তৎসহ আর্মেচারকে চালনা করে। এক্ষেত্রে যান্ত্রিক শক্তিকে সরাসরি বিদ্যুৎশক্তি উৎপাদনের কাজে লাগানো হয়। এই ধরনের ডায়নামোকে জলবিদ্যুৎ জেনারেটর (hydroelectric generator) বলা হয়। মাইথন, পাঞ্জে প্রভৃতি জায়গায় এই ধরনের জলবিদ্যুৎ জেনারেটর বসানো হয়েছে। বলা বাহুল্য, তাপীয় জেনারেটর অপেক্ষা জল-বিদ্যুৎ জেনারেটর দ্বারা বিদ্যুৎশক্তি উৎপাদন অনেক কম খরচে করা যায় কারণ জল-বিদ্যুৎ জেনারেটরে কয়লার মতো কোনো জ্বালানির প্রয়োজন হয় না।

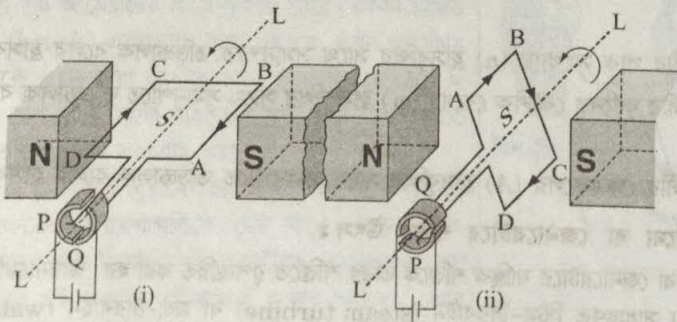
5.14 → মোটর (Motor):

মোটরের কার্যনীতি ডায়নামোর কার্যনীতির ঠিক বিপরীত। ডায়নামোতে যান্ত্রিক শক্তির বদলে তড়িৎশক্তি পাওয়া যায়। মোটরে ঠিক তার বিপরীত—তড়িৎশক্তি হতে যান্ত্রিক শক্তি পাওয়া যায়।

মোটর দুই প্রকারের হতে পারে। (1) সম-প্রবাহ মোটর বা Direct current motor যাকে সংক্ষেপে D.C. motor বলে এবং (2) পরিবর্তী প্রবাহ মোটর বা Alternating current motor যাকে সংক্ষেপে A.C. motor বলে। আমরা এখানে সম-প্রবাহ মোটর—অর্থাৎ D.C. motor সম্বন্ধে আলোচনা করব।

মোটরের গঠনপ্রণালী ডায়নামোর অনুরূপ ; অর্থাৎ ডায়নামোর ন্যায় মোটরে আর্মেচার, শক্তিশালী ক্ষেত্র-চুম্বক, ব্রাশ, কমুটোর প্রভৃতি থাকে।

চিত্র 5.13 (i) এবং (ii) দ্বারা মোটরের কার্যপ্রণালী বুঝানো হল। ABCD আর্মেচার কুণ্ডলী। কুণ্ডলী একটি অনুভূমিক অক্ষ LL-এর চতুর্দিকে ঘুরতে পারে। কুণ্ডলীর সাথে একটি তড়িৎ কোশ যুক্ত। ধরো, তড়িৎপ্রবাহ DCBA অভিমুখে যাচ্ছে এবং কুণ্ডলী অনুভূমিক অবস্থায় আছে। এই অবস্থায় তড়িৎ কোশের পজিটিভ মেব্রু কমুটোর-এর P-পাতের সাথে এবং নেগেটিভ মেব্রু Q-পাতের সাথে যুক্ত [5.12 নং চিত্র]। আমরা জানি, তড়িৎবাহী সঙ্কয়শীল তার চৌম্বক ক্ষেত্রে রাখলে ঐ তার একটি বল অনুভব করে এবং বিক্ষিপ্ত হয়। বিক্ষিপ্তের দিক ফ্লেমিং-এর বামহস্ত নিয়ম দ্বারা নির্ণয় করা যায়। অস্থলে



চিত্র 5.13

AB এবং CD বাহুতে তড়িৎপ্রবাহ আছে এবং তারা $N-S$ চুম্বকের চৌম্বক ক্ষেত্রে অবস্থিত। সুতরাং তারা প্রত্যেকে একটি বল অনুভব করবে। ফ্রেমিং-এর বামহস্ত নিয়ম প্রয়োগ করলে দেখা যাবে, AB তার উর্ধ্বমুখী এবং CD তার নিম্নমুখী বল অনুভব করে, কারণ দুই বাহুতে তড়িৎ প্রবাহের অভিমুখ উল্টো। CB এবং AD বাহু কোনো বল অনুভব করে না, কারণ, তাদের তড়িৎ প্রবাহের অভিমুখ চৌম্বকক্ষেত্রের অভিমুখের সমান্তরাল। এর ফলে সমগ্র কুণ্ডলী LL রেখাকে অক্ষ করে ঘুরে যাবে। ঘোরার অভিমুখ তিরচিহ্ন দ্বারা দেখানো হয়েছে [5.13 (i) নং চিত্র]। কুণ্ডলী ঘুরে যখন খাড়া (vertical) অবস্থায় আসে [5.13(ii) নং চিত্র] তখন $P-Q$ কমুটেটোরের সাহায্যে কুণ্ডলীতে তড়িৎপ্রবাহের অভিমুখ উল্টে দেওয়া হয়। অর্থাৎ, কোশের পজিটিভ মেরু Q -পাতের সঙ্গে এবং নেগেটিভ মেরু P -পাতের সঙ্গে যুক্ত হয়। কুণ্ডলীতে এখন তড়িৎপ্রবাহ $ABCD$ অভিমুখে প্রবাহিত হবে [5.13(ii) নং চিত্র]। পুনরায় AB ও CD বাহুতে ফ্রেমিং-এর বামহস্ত নিয়ম প্রয়োগ করলে দেখা যাবে, তাদের ওপর বলের অভিমুখ উল্টে গিয়েছে—অর্থাৎ CD তার উর্ধ্বমুখী এবং AB তার নিম্নমুখী বল অনুভব করছে। ফলে কুণ্ডলী একই দিকে ঘুরে যাবে। এইরূপ যখনই কুণ্ডলী খাড়া অবস্থায় আসে তখনই কমুটেটোরের সাহায্যে তড়িৎ প্রবাহের অভিমুখ বদলে কুণ্ডলীকে সর্বদা একই দিকে ঘুরানো হয়। তড়িৎ প্রবাহের মাত্রা বাড়িয়ে এবং শক্তিশালী চুম্বক ব্যবহার করে কুণ্ডলীকে প্রবলবেগে ঘোরানো যেতে পারে। কুণ্ডলীর এই আবর্তনকে নানাভাবে অন্য কার্যে প্রয়োগ করা হয়। এটাই $D.C.$ মোটরের নীতি।

বৈদ্যুতিক পাখা, ট্রামগাড়ি, পাম্প, রোলিং মিল প্রভৃতিতে মোটরের ব্যবহারিক প্রয়োগ দেখতে পাওয়া যায়।

● মোটরে পশ্চাৎবর্তী তড়িচ্চালক বল (Back e.m.f. in motors):

মোটরের ক্ষেত্র চুম্বকের চৌম্বকক্ষেত্রে যখন আর্মেচারে কুণ্ডলী দ্রুতবেগে ঘুরতে থাকে তখন কুণ্ডলীর সাথে জড়িত চৌম্বক বলরেখার সংখ্যার পরিবর্তন হয়। এতে কুণ্ডলীর প্রান্তে একটি তড়িচ্চালক বল আবিষ্ট হয়। লেন্সের সূত্রানুযায়ী এই তড়িচ্চালক বল আর্মেচার কুণ্ডলীকে যে তড়িৎপ্রবাহ ঘোরায় সেই প্রবাহের বিরুদ্ধাচরণ করে। এই কারণে এই তড়িচ্চালক বলকে ‘পশ্চাৎবর্তী তড়িচ্চালক বল বলা হয়। আর্মেচার কুণ্ডলীর সাথে যুক্ত ব্যাটারির তড়িচ্চালক বল E , পশ্চাৎবর্তী তড়িচ্চালক বল V এবং কুণ্ডলীর রোধ r হলে, আর্মেচার কুণ্ডলীর প্রবাহমাত্রা $i = \frac{E - V}{r}$; সাধারণত আর্মেচার কুণ্ডলীর রোধ প্রায় 1Ω -এর মতো নিম্নমানের থাকে।

পশ্চাৎবর্তী তড়িচ্চালক বল নির্ভর করে (i) ক্ষেত্র-চুম্বকের চৌম্বক প্রাবল্যের ওপর এবং (ii) আর্মেচার কুণ্ডলীর আবর্তন গতিবেগের ওপর। যখন মোটরকে প্রথম চালু করা হয়, তখন পশ্চাৎবর্তী তড়িচ্চালক বলের মান শূন্য থাকে কিন্তু কুণ্ডলীর আবর্তন গতিবেগ যত বাড়তে থাকে পশ্চাৎবর্তী তড়িচ্চালক বলও তত বাড়তে থাকে। বড় আকারের মোটরের বেলায়, প্রারম্ভিক প্রবাহ (starting current) খুব উচ্চমানের হয়। একে সীমিত না করলে আর্মেচার কুণ্ডলী পুড়ে যেতে পারে। প্রারম্ভিক প্রবাহকে সীমিত রাখার জন্য কুণ্ডলীর সাথে শ্রেণি সমবায়ী একটি পরিবর্তনীয় রোধ যুক্ত করা থাকে। যত কুণ্ডলীর আবর্তন বেগ বাড়তে থাকে তত এই পরিবর্তনীয় রোধের মান হ্রাস করা হয়। কুণ্ডলী পূর্ণ বেগ লাভ করলে রোধ সম্পূর্ণ ছেদ করা হয়।

মোটর সম্পূর্ণ চালু অবস্থায়, পশ্চাৎবর্তী তড়িচ্চালক বল (V) তড়িৎপ্রবাহ সরবরাহকারী ব্যাটারির তড়িচ্চালক বলের (E) প্রায় সমান হয়। যেমন, মেইনস্ ($E = 220 \text{ volt}$) চালিত মোটরে পশ্চাৎবর্তী তড়িচ্চালক বল প্রায় 210 volt -এর মতো হতে পারে। আর্মেচার কুণ্ডলীর রোধ 1Ω হলে পূর্ণচালু অবস্থায় মোটরের তড়িৎপ্রবাহমাত্রা $= 220 - 210 = 10 \text{ A}$; কিন্তু কোনো প্রারম্ভিক রোধ (starting resistance) ব্যবহার না করে ঐ মোটরকে যখন প্রথম চালু করা হয়, তখন প্রারম্ভিক প্রবাহ হয় 220 A । এত উচ্চমানের প্রবাহে আর্মেচার কুণ্ডলী পুড়ে যাবে।

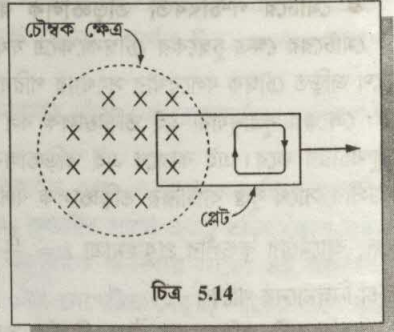
এই পরিচ্ছেদের বিষয়বস্তু সম্পর্কে কয়েকটি প্রশ্ন
(Some typical problems of this chapter)

1. দুটি একই রকমের রিং—একটি তামার এবং অপরটি কাঠের—পাশাপাশি রাখা আছে। দুটি দণ্ড চুম্বকে একই উচ্চতা হতে রিং দুটির অক্ষ বরাবর অবাধে পড়তে দেওয়া হল। দুটি চুম্বক দণ্ডই কি একই ত্বরণ নিয়ে পড়বে ?

- যখন দণ্ড চুম্বক তামার রিংয়ের দিকে অগ্রসর হবে অথবা রিং হতে দূরে সরে যাবে তখন রিং-এর সাথে সংশ্লিষ্ট চৌম্বক ফ্লাক্সের পরিবর্তন ঘটবে। অগ্রসর হবার সময় ফ্লাক্স পরিবর্তনের হার বৃদ্ধি পাবে এবং দূরে সরে যাবার সময় হ্রাস পাবে। উভয়ক্ষেত্রেই তামার রিং-এ একটি তড়িচ্চালক বলের উদ্ভব হবে। কারণ তামা তড়িৎ পরিবাহী। লেঙ্গু সূত্রানুযায়ী, আবিষ্ট তড়িচ্চালক বল দণ্ড-চুম্বকের পতনকে বাধা দেবে। ফলে চুম্বক দণ্ড অভিকর্ষজ ত্বরণ নিয়ে পড়বে না ; তার ত্বরণ অভিকর্ষজ ত্বরণ অপেক্ষা কিছু কম হবে।

কাঠ তড়িৎের অপরিবাহী বলে দণ্ড চুম্বকের পতনের ফলে কাঠের রিং-এ কোনো তড়িচ্চুম্বকীয় আবেশ হবে না। সেজন্য কাঠের রিং-এর ভিতর দিয়ে পড়ার সময় দণ্ড চুম্বক কোনো বাধার সম্মুখীন হবে না। দণ্ড অভিকর্ষজ ত্বরণ থেকে নীচে পড়বে। সুতরাং দ্বিতীয় দণ্ড চুম্বক প্রথম দণ্ড চুম্বক অপেক্ষা দ্রুত নীচে পড়বে।

2. একটি তামার প্লেটকে একটি চৌম্বকক্ষেত্রের ভিতর আংশিক প্রবেশ করানো আছে। তামার প্লেটকে যদি চৌম্বকক্ষেত্র হতে বাইরে আনার অথবা চৌম্বকক্ষেত্রের আরও ভিতরে প্রবেশ করাবার চেষ্টা করা হয় তবে বাধার সম্মুখীন হতে হয়। এর কারণ কী ?

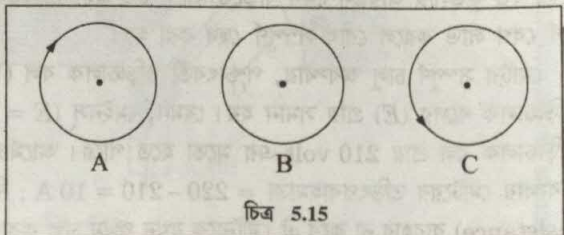


চিত্র 5.14

- তামা তড়িৎ-পরিবাহী। তামার প্লেটকে চৌম্বকক্ষেত্র হতে দূরে অথবা চৌম্বকক্ষেত্রের আরও ভিতরে প্রবেশ করানো হলে, প্লেটের সাথে সংশ্লিষ্ট চৌম্বক ফ্লাক্সের পরিবর্তন হবে। ফলে, প্লেটে তড়িৎ-চুম্বকীয় আবেশ হবে। এতে প্লেটের উপাদানের ভিতর বন্ধপথে তড়িৎপ্রবাহ ঘটবে [চিত্র 5.14]। এই প্রবাহকে বলা হয় ঘূর্ণি প্রবাহ (eddy current)। লেঙ্গের সূত্রানুযায়ী ঘূর্ণি প্রবাহ তার উৎপাদনের মূল কারণকে বাধা দেবে। তাই প্লেটকে বাইরে আনার অথবা চৌম্বকক্ষেত্রের অভ্যন্তরে প্রবেশ করাবার সময় বাধার সৃষ্টি হয়।

3. অবিকল একই রকমের তিনটি তারকুণ্ডলী A, B এবং C-কে তাদের তল (plane) সমান্তরাল রেখে বসানো আছে। A এবং C কুণ্ডলী দিয়ে 5.15 নং চিত্রে প্রদর্শিত অভিমুখে তড়িৎ প্রবাহ যাচ্ছে। B এবং C কুণ্ডলী স্থির (fixed)। A কুণ্ডলীকে সমবেগে B কুণ্ডলীর দিকে চালনা করা হলে, B কুণ্ডলীতে কি কোনো প্রবাহ আবিষ্ট হবে ?

- A কুণ্ডলীকে B কুণ্ডলীর দিকে চালনা করা হলে, B কুণ্ডলীর সাথে জড়িত ফ্লাক্স বৃদ্ধি পাবে। তড়িৎ-চুম্বকীয় সূত্রানুসারে B-কুণ্ডলীতে একটি তড়িৎ প্রবাহ আবিষ্ট হবে। প্রবাহের অভিমুখ এমনই



চিত্র 5.15

হবে যে তা B সাপেক্ষে A-র আপেক্ষিক গতিকে বাধা দেয়। যেহেতু A কুণ্ডলীতে তড়িৎ প্রবাহ ঘড়ির কাঁটার অভিমুখে, তাই B-কুণ্ডলীর আবিষ্ট প্রবাহের অভিমুখ হবে ঘড়ির কাঁটার বিপরীত দিকে। আবার B এবং C কুণ্ডলীদ্বয় স্থির থাকায় তাদের ভিতর কোনো আপেক্ষিক গতিবেগ নেই। ফলে, C কুণ্ডলীর প্রবাহের দরুন B-কুণ্ডলীতে কোনো আবেশ ঘটবে না।

4. আবিষ্ট তড়িচ্চালক বলের নিজস্ব কোনো অভিমুখ নেই। ব্যাখ্যা করো।

● উত্তিষ্ট ঠিক। লেন্সের সূত্রানুযায়ী আবিষ্ট তড়িচ্চালক বলের অভিমুখ এরূপ হবে যে, যে-কারণে তড়িচ্চালক বলের সৃষ্টি হয়, তড়িচ্চালক বল সর্বদা সেই কারণকে বাধা দেবে। যে মুহূর্তে আবেশের কারণ অভিমুখ পরিবর্তন করবে সেই মুহূর্তে তড়িচ্চালক বলের অভিমুখও পরিবর্তন করবে। এতএব আবিষ্ট তড়িচ্চালক বলের অভিমুখ নির্দেশিত হয় ঐ তড়িচ্চালক বল উৎপত্তির কারণ দ্বারা।

5. একটি ধাতব তারের কুণ্ডলী একটি অসম চৌম্বক ক্ষেত্রে স্থির অবস্থায় আছে। কুণ্ডলীতে কোনো তড়িচ্চালক বল আবিষ্ট হবে কি ?

● কুণ্ডলীতে তড়িচ্চালক বল আবিষ্ট হবে। তড়িচ্চালকীয় আবেশের সূত্রানুযায়ী কোনো বন্ধ কুণ্ডলীর সাথে সংশ্লিষ্ট চৌম্বক প্রবাহের পরিবর্তন হলে কুণ্ডলীতে তড়িচ্চালক বলের আবেশ হয়। প্রশ্নের চৌম্বক ক্ষেত্র অসম হওয়ায়, ক্ষেত্রের চৌম্বক প্রবাহ (flux) পরিবর্তন করে। এরূপ পরিবর্তিত চৌম্বক প্রবাহে তার-কুণ্ডলী স্থির অবস্থায় থাকায় কুণ্ডলীতে তড়িচ্চালক বলের আবেশ হবে।

6. 50 cycle/s কম্পাঙ্কের একটি পরিবর্তী প্রবাহ লাইনে কত সময় অবকাশে প্রবাহের অভিমুখ একবার করে উল্টে যায় ?

● 50 cycle/s কম্পাঙ্কের পরিবর্তী প্রবাহ লাইনে প্রতি সেকেন্ডে প্রবাহের অভিমুখ 50 বার উল্টে যায়। অতএব, একবার প্রবাহের উল্টাবার সময় অবকাশ = $1/50$ s।

7. চৌম্বক ক্ষেত্রে স্থাপিত একটি পরিবাহীকে চৌম্বকক্ষেত্রের সমান্তরালে চালনা করা হলে পরিবাহীতে কোনো তড়িচ্চালক বলের আবেশ হবে কি ?

● না ; কোনো তড়িচ্চালক বলের আবেশ হবে না। কারণ এক্ষেত্রে পরিবাহীর সঙ্গে জড়িত চৌম্বক ফ্লাক্সের কোনো পরিবর্তন হচ্ছে না।

8. l দৈর্ঘ্যের একটি কাচ দণ্ড v গতিবেগ নিয়ে B চৌম্বক ক্ষেত্রের ভিতর গতিশীল আছে। দণ্ডে কোনো তড়িৎ-চালক বল আবিষ্ট হবে কি ?

● না ; কোনো তড়িচ্চালক বল আবিষ্ট হবে না। কারণ কাচ একটি অন্তরক পদার্থ (insulator)।

9. দুটি তারকুণ্ডলীকে একটি চৌম্বক ক্ষেত্রের ভিতর দিয়ে বার করে আনা হল। একটি কুণ্ডলীকে খুব দ্রুত কিন্তু অপর কুণ্ডলীকে ধীরে চালনা করা হলে কোন্ ক্ষেত্রে বেশি কার্য করা হবে ?

● যে-কুণ্ডলীকে দ্রুত বার করে আনা হল সেক্ষেত্রে বেশি কাজ করতে হবে। কারণ, কুণ্ডলীর দ্রুত গতির জন্য কুণ্ডলীর সাথে সংশ্লিষ্ট চৌম্বক ফ্লাক্সের দ্রুত পরিবর্তন ঘটবে। ফলে ঐ কুণ্ডলীতে আবিষ্ট তড়িচ্চালক বলের মান অপর কুণ্ডলীর তুলনায় বেশি হবে।

10. কুণ্ডলীতে চৌম্বক ফ্লাক্সের পরিবর্তন হলে সর্বদাই কি আবিষ্ট তড়িৎপ্রবাহ পাওয়া যাবে ?

● আবিষ্ট তড়িৎ প্রবাহ পাওয়া যাবে যখন কুণ্ডলী বন্ধ কুণ্ডলী (closed coil) হবে। কুণ্ডলী খণ্ডিত হলে কোনো প্রবাহ পাওয়া যাবে না। কিন্তু কুণ্ডলী বন্ধ হোক কি খণ্ডিত হোক তড়িচ্চালক বল সর্বদাই আবিষ্ট হবে।

11. High tension তারে বসা পাখি তার দিয়ে প্রবাহ চালানো মাত্রই উড়ে যায় কেন ?

● তার দিয়ে প্রবাহ শূন্য মাত্রা থেকে গরিষ্ঠ (maximum) মাত্রা পাবার সময় পাখির দেহে তড়িৎ প্রবাহ আবিষ্ট হয়। এর ফলে পাখি একটি ধাক্কা অনুভব করে এবং উড়ে যায়।

12. একটি বৃত্তাকার তারকুণ্ডলী এবং দণ্ড চুম্বক একই দিকে একই গতিবেগ নিয়ে অগ্রসর হচ্ছে। এ অবস্থায় কুণ্ডলীতে কোনো তড়িচ্চালক বলের আবেশ হবে কি ?

- কুণ্ডলীর সাথে জড়িত চৌম্বক ফ্লাক্স পরিবর্তন করলে, কুণ্ডলীতে তড়িচ্চালক বলের আবেশ হয়। কিন্তু এক্ষেত্রে উভয়েই একই দিকে এবং বেগে অগ্রসর হওয়ায়, কুণ্ডলীর সঙ্গে জড়িত বলরেখার কোনো পরিবর্তন হচ্ছে না ; ফলে কোনো তড়িচ্চালক বলের আবেশ হবে না।

13. কোনো তড়িচ্চালক বলের উৎসের সঙ্গে যুক্ত একটি ঋজু পরিবাহী তারে বাঁ দিক থেকে ডানদিকে স্থির মানের তড়িৎ প্রবাহ যাচ্ছে। তড়িৎ চালক বলের উৎসকে সরিয়ে নিলে তারে আবিষ্ট তড়িৎপ্রবাহের অভিমুখ কী হবে ?

- স্থির মানের তড়িৎ প্রবাহ বৈদিক থেকে ডান দিকে চলার সময় তারের সঙ্গে জড়িত চৌম্বক বলরেখার সংখ্যা স্থির ছিল। প্রবাহ বন্ধ করে দিলে সহসা বলরেখার সংখ্যা সর্বাধিক মান থেকে শূন্য হয়ে গেল। তড়িৎচুম্বকীয় আবেশের নিয়মানুযায়ী তারে বিপরীত দিকে অর্থাৎ ডানদিক থেকে বাঁ দিকে ক্ষণস্থায়ী তড়িৎ প্রবাহ আবিষ্ট হবে।

14. দুটি বৃত্তাকার তারকুণ্ডলী সমাক্ষীয়ভাবে কিন্তু সামান্য তফাতে রাখা আছে। একটি কুণ্ডলীতে ব্যাটারি যুক্ত করে সহসা কুণ্ডলীতে তড়িৎপ্রবাহ পাঠানো হল। অপর কুণ্ডলীতে কি কোনো প্রবাহ পাওয়া যাবে ? গেলে, প্রবাহ কখন শুরু হবে এবং কখন শেষ হবে ? কুণ্ডলী দুটি কী পরস্পরকে আকর্ষণ করবে না বিকর্ষণ করবে ?

- অপর কুণ্ডলীতে ক্ষণস্থায়ী প্রবাহ পাওয়া যাবে। কারণ প্রথম কুণ্ডলীতে তড়িৎ প্রবাহ শুরু হলে, তার দ্বারা চৌম্বক বলরেখা দ্বিতীয় কুণ্ডলীকে ছেদ করবে। তড়িৎ চুম্বকীয় আবেশের সূত্রানুযায়ী দ্বিতীয় কুণ্ডলীতে তড়িৎ চালক বলের আবেশ হবে এবং কুণ্ডলী দিয়ে তড়িৎ প্রবাহ যাবে। দ্বিতীয় কুণ্ডলীর এই প্রবাহ ক্ষণস্থায়ী। প্রথম কুণ্ডলীতে তড়িৎ প্রবাহ চালু হবার সঙ্গে সঙ্গে দ্বিতীয় কুণ্ডলীতে প্রবাহ আবিষ্ট হবে কিন্তু মুহূর্তের মধ্যেই এই প্রবাহ শেষ হবে। তড়িৎচুম্বকীয় আবেশের লেক্স সূত্রানুযায়ী দ্বিতীয় কুণ্ডলীর প্রবাহ প্রথম কুণ্ডলীর প্রবাহের অভিমুখের বিপরীত হবে। ফলে, মুহূর্তের জন্য কুণ্ডলী দুটি পরস্পরকে বিকর্ষণ করবে।



প্রশ্নাবলি



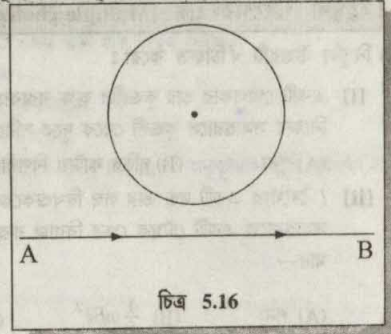
→ রচনামূলক প্রশ্ন

1. আবিষ্ট তড়িৎ প্রবাহ কাকে বলে ? চুম্বক ও তড়িৎবাহী কুণ্ডলীর সাহায্যে আবিষ্ট তড়িৎ প্রবাহ উৎপন্ন করার পরীক্ষা বর্ণনা করো।
2. তড়িৎ-চুম্বকীয় আবেশ সংক্রান্ত পরীক্ষাগুলি সংক্ষেপে বর্ণনা করো।
3. তড়িৎ-চুম্বকীয় আবেশ সংক্রান্ত ফারাডের সূত্রগুলি বিবৃত করো। আবিষ্ট তড়িচ্চালক বলের অভিমুখ কীরূপে নির্ণয় করবে ?
4. একটি এরোস্টোন অনুভূমিকভাবে উড়ে যাবার সময় তার ডানার দুই প্রান্ত বিন্দুর মধ্যে বিভবপ্রভেদ দেখা যায়। কারণ কী ? এই বিভবপ্রভেদ কোন কোন বিষয়ের ওপর নির্ভর করে ?
5. আবিষ্ট তড়িৎ প্রবাহ কী ? আবিষ্ট প্রবাহের (ক) স্থায়িত্ব (খ) অভিমুখ এবং (গ) মান কী কী বিষয়ের ওপর নির্ভর করে ?
6. লেক্সের সূত্র বিবৃত করো এবং এর সাহায্যে আবিষ্ট তড়িৎ প্রবাহ সূচি ব্যাখ্যা করো।
7. স্বাবেশাঙ্ক বলতে কী বোঝ ? পারস্পরিক আবেশাঙ্ক 1 হেনরী—অর্থ কী ?
8. ডায়নামো কাকে বলে ? এর নীতি কী ? A.C. ডায়নামোর বর্ণনা দাও।
9. সরল পরিবর্তী প্রবাহ ডায়নামোর কার্যনীতি চিত্র সহকারে ব্যাখ্যা করো।
10. একটি এ.সি. ডায়নামো উৎপন্ন তড়িচ্চালক বলের নিম্নলিখিত ক্ষেত্রে কী পরিবর্তন ঘটবে উল্লেখ করো : (i) চৌম্বক ক্ষেত্রের প্রাবল্য দ্বিগুণ করা হল, (ii) কুণ্ডলীর পাক-সংখ্যা 5 গুণ বৃদ্ধি করা হল, (iii) কুণ্ডলীর ঘূর্ণনের বেগ হ্রাস করা হল, (iv) কুণ্ডলীর ক্ষেত্রফল বৃদ্ধি করা হল।
11. যখন একটি দণ্ড চুম্বকের উত্তর মেৰু একটি তড়িৎবাহী স্থির গোলাকার কুণ্ডলীর দিকে তার অক্ষ বরাবর অগ্রসর হয়, তখন দণ্ড চুম্বকের গতি বাধা প্রাপ্ত হয়—ব্যাখ্যা করো।

12. মোটরের কার্য কী ? ডায়নামো এবং মোটরের কার্যনীতি তুলনা করো।
13. পরিবর্তী প্রবাহ বলতে কী বোঝ ? পরিবর্তী প্রবাহের ক্ষেত্রে শীর্ষমান ও গড়বর্গের বর্গমূল মান কাকে বলে ? তাদের সম্পর্ক কী ? উত্ত প্রবাহের কম্পাঙ্ক কাকে বলে ?

→ সংক্ষিপ্ত উত্তরের প্রশ্ন

1. আবিষ্ট তড়িচ্চালক বল এবং আবিষ্ট তড়িৎ প্রবাহ বলতে কী বোঝ ?
2. একটি সুবেদী গ্যালভানোমিটারের সাথে যুক্ত একটি তারকুণ্ডলী তোমাকে দেওয়া হল। নিম্নলিখিত ক্ষেত্রে কী ঘটবে তার কারণসহ ব্যাখ্যা করো :—
(ক) কুণ্ডলীর ভিতর একটি দণ্ড চুম্বকের N-মেরু হঠাৎ প্রবেশ করালে, (খ) তাকে কুণ্ডলীর ভিতর রেখে দিলে, (গ) তাকে কুণ্ডলী হতে হঠাৎ বার করে আনলে।
3. একটি দণ্ড চুম্বকের উত্তর মেরুকে একটি বন্ধ বর্তনীর দিকে মুখ করে বর্তনীর অভিমুখে নিয়ে গেলে বর্তনীতে উৎপাদিত আবিষ্ট প্রবাহ কোন দিকে প্রবাহিত হবে ?
4. লেঞ্জ সূত্রের সাহায্যে কুণ্ডলীতে আবিষ্ট তড়িৎ প্রবাহের অভিমুখ কীরূপ হবে ব্যাখ্যা করো যখন (ক) কোনো চুম্বকের S মেরু কুণ্ডলীর নিকট আনা হয়, (খ) দূরে সরিয়ে নেওয়া হয়।
5. প্রমাণ করো যে, শক্তির সংরক্ষণ সূত্র হতে লেঞ্জের সূত্র পাওয়া যায়।
6. আবিষ্ট প্রবাহ কোথা হতে শক্তি সংগ্রহ করে ? শক্তি সংরক্ষণ সূত্র হতে কীরূপে লেঞ্জের সূত্র প্রতিষ্ঠা করা যায় ?
7. একটি গোলাকার তারকুণ্ডলীর অক্ষ বরাবর একটি চৌম্বকৃতি দণ্ড চুম্বক রাখা আছে। দণ্ড-চুম্বককে তার অক্ষের চতুর্দিকে ঘোরালে তারকুণ্ডলীতে কোনো প্রবাহ আবিষ্ট হবে কি ?
(সংকেত : দণ্ড চুম্বক চৌম্বকৃতি হওয়ায়, দণ্ডের অক্ষের চতুর্দিকে তার আবর্তনের ফলে তার-কুণ্ডলীর সাথে জড়িত বলরেখা সংখ্যার কোনো পরিবর্তন হবে না। কাজেই কুণ্ডলীতে কোনো তড়িৎ প্রবাহ আবিষ্ট হবে না।)
8. একটি পরিবাহী তার বৃত্তের আকারে বঁাকানো হল এবং তার বাইরে অথচ নিকটে একটি ঋজু পরিবাহী AB রাখা আছে। (চিত্র 5.16) যদি A হতে B অভিমুখে ক্রমবর্ধমান তড়িৎ প্রবাহিত হয়, তবে বৃত্তাকার পরিবাহীতে কোনও তড়িৎ-প্রবাহিত হবে কী ? হলে ঐ প্রবাহের অভিমুখ নির্ণয় করো।

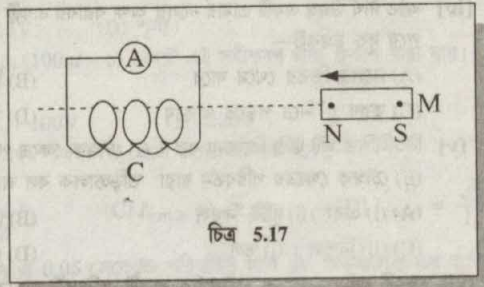


চিত্র 5.16

9. দুটি একরকম বৃত্তাকার তারের লুপ পরস্পরের স্পর্শ না করে টেবিলের ওপর রাখা আছে। A লুপে একটি প্রবাহ যাচ্ছে যা সময়ের সাথে বৃদ্ধি পায়। এই অবস্থায় B লুপ কি কোনো বল অনুভব করবে ? করলে কীরূপ বল অনুভব করবে ?

(সংকেত : A লুপের প্রবাহের হার পরিবর্তনের ফলে B লুপের সঙ্গে সংশ্লিষ্ট চৌম্বক ফ্লাক্স পরিবর্তন করবে। তড়িচ্চুম্বকীয় আবেশের ফলে B লুপে একটি বিপরীতমুখী তড়িৎ প্রবাহ আবিষ্ট হবে। দুই লুপে বিপরীত প্রবাহের ফলে, B লুপ A লুপ কর্তৃক বিকর্ষণ বল অনুভব করবে।)

10. একটি ছোটো দণ্ড চুম্বক M-কে যদি একটি অ্যামিটার (A) যুক্ত তার কুণ্ডলী C-এর নিকট উত্তর-মেরু সম্মুখ করে আনা যায় (চিত্র 5.17) তাহলে দেখাও যে লেনজের সূত্র শক্তি সংরক্ষণ সূত্রের সাথে সহমত হয়। চিত্রে অঙ্কিত কুণ্ডলীটির চৌম্বক মেরু কীরূপ যদি M তার ভিতর প্রবেশ করে বাম দিকে বার হয়ে আসে।



চিত্র 5.17

→ অতিসংক্ষিপ্ত উত্তরের প্রশ্ন

1. ফ্রেমিং-এর ডান হাত নিয়ম বিবৃত কর।
2. একটি দণ্ড চুম্বককে খাড়া ওপর হতে নীচে তামার কুণ্ডলীর কেন্দ্রে দিয়ে ফেলা হল। দড়টি কি অভিকর্ষজ ত্বরণ অপেক্ষা কম ত্বরণে পড়বে ?
3. একটি পরিবাহীর পৃষ্ঠস্থ কোন বিন্দু দিয়ে পৃষ্ঠের অভিলম্বভাবে গত রেখা একটি চৌম্বক ক্ষেত্র B-এর সঙ্গে ϕ কোণ করে। পরিবাহীর A ক্ষেত্রফল দিয়ে কত চৌম্বক ফ্লাক্স অতিক্রম করে ?

4. একটি পরিবাহীকে চৌম্বক ক্ষেত্রের ভিতর দিয়ে ক্ষেত্রের সমান্তরালে নিয়ে যাওয়া হল। পরিবাহীতে কি তড়িচ্চালক বল আবিষ্ট হবে ?
5. I দৈর্ঘ্যের একটি কাঠের দণ্ড ω গতিবেগ নিয়ে B চৌম্বক ক্ষেত্রের অভিলম্বভাবে গতিশীল আছে। দন্তে কি তড়িচ্চালক বল আবিষ্ট হবে ?
6. খাতব তল যুক্ত একটি কৃত্রিম উপগ্রহ নিরক্ষরতলে থেকে পৃথিবী পরিক্রমা করছে। ভূচৌম্বকের দরুন কোন তড়িৎপ্রবাহ আবিষ্ট হল না। কেন ?
7. চৌম্বক ফ্লাক্স কি ? এর S.I. একক কি ?
8. চৌম্বক ফ্লাক্স ভেক্টর না স্কেলার ?
9. একটি কুন্ডলীকে একটি সুবম চৌম্বক ক্ষেত্র থেকে (i) দ্রুত (ii) ধীরে ধীরে সরিয়ে নেওয়া হল। কোন ক্ষেত্রে বেশী কার্য করতে হবে ?
10. একটি উন্মুক্ত (open) বর্তনীর ক্ষেত্রে কি লেন্স সূত্র প্রযোজ্য ?
11. পরিবর্তী প্রবাহ একমুখী প্রবাহ অপেক্ষা বেশি বিপজ্জনক কেন ?
12. 220 volt A.C. থেকে যে শক্তি (অভিঘাত) পাওয়া যায়, তা 220 volt D.C.-র শক্তি থেকে বেশি বিপজ্জনক কেন ?

■ बहुमुखी पछन्देर प्रश्न [Multiple choice type (MCQ)]

(A) নির্ভুল উত্তরটি $\sqrt{\quad}$ চিহ্নিত করো :

- [i] একটি গোলকার তার কুন্ডলীর অক্ষ বরাবর স্থাপিত এবং কুন্ডলীর অভিমুখী চৌম্বকক্রমকযুক্ত একটি দণ্ড চুম্বককে নিজের সমান্তরালে কুন্ডলী থেকে দূরে সরিয়ে নিয়ে কুন্ডলীকে তড়িৎ প্রবাহমাত্রা হবে—
(A) শূন্য (B) ঘড়ির কাটার বিপরীতে (C) ঘড়ির কাটার দিকে (D) কোনটাই নয়।
- [ii] I দৈর্ঘ্যের একটি দণ্ড তার লম্ব দিককে অক্ষ করে ক্ষুদ্র সমকোণিক গতি ω নিয়ে আবর্তন করছে। ঘূর্ণাক্ষের সমান্তরালে একটি চৌম্বক ক্ষেত্র বিরাজ করছে। দণ্ডের কেন্দ্র এবং এক প্রান্তের ভিতর আবিষ্ট তড়িচ্চালক বলের মান—
(A) শূন্য (B) $\frac{1}{8}\omega Bl^2$ (C) $\frac{1}{2}\omega Bl^2$ (D) $B\omega l^2$ ।
- [iii] উপরোক্ত ক্ষেত্রে দণ্ডের দুই প্রান্তের ভিতর আবিষ্ট তড়িচ্চালক বলের মান—
(A) শূন্য (B) $\frac{1}{2}B\omega l^2$ (C) $B\omega l^2$ (D) $2B\omega l^2$ ।
- [iv] অতি দীর্ঘ উল্লম্ব একটি তামার নলের অক্ষ বরাবর একটি দণ্ড চুম্বককে স্থিরাবস্থা থেকে ফেলে দেওয়া হল। কিছুক্ষণ পরে দণ্ড চুম্বকটি—
(A) নলের ভিতর থেমে যাবে (B) স্থির দ্রুতিতে পড়তে থাকবে
(C) ত্বরণ g নিয়ে পড়তে থাকবে (D) উপর নীচে দুলতে থাকবে।
- [v] নিম্নলিখিত দুটি উক্তি বিবেচনা কর : (i) চৌম্বক ক্ষেত্রে পরিবাহীকে গতিশীল করে তড়িচ্চালক বল আবিষ্ট করা যায় (ii) চৌম্বক ক্ষেত্রের পরিবর্তন দ্বারা তড়িচ্চালক বল আবিষ্ট করা যায়।
(A) (i) এবং (ii) দুটিই নির্ভুল (B) (i) নির্ভুল ; (ii) ভুল
(C) (ii) নির্ভুল ; (i) ভুল (D) (i) এবং (ii) দুটিই ভুল।
- [vi] একটি চৌম্বক ক্ষেত্রে I দৈর্ঘ্যের একটি পরিবাহী দণ্ডকে ω গতিবেগে গতিশীল রাখা হয়েছে। দণ্ডের দুই প্রান্তে তড়িচ্চালক বলের উদ্ভব হবে যদি—
(A) $\vec{v} \parallel \vec{l}$ (B) $\vec{v} \parallel \vec{B}$ (C) $\vec{l} \parallel \vec{B}$ (D) কোনটাই না।

- [vii] একটি পরিবাহী তার কুন্ডলীকে চৌম্বক ক্ষেত্রের অভিলম্বভাবে স্থাপন করা হল। কুন্ডলীতে তড়িচ্চালক বলের উদ্ভব হবে যদি
(A) কুন্ডলীর সরণ হয় (B) কুন্ডলীর অক্ষ সাপেক্ষে কুন্ডলীর ঘূর্ণন হয়
(C) কুন্ডলীর ব্যাস সাপেক্ষে ঘূর্ণন হয় (D) কুন্ডলীকে বিকৃত করা যায়।
- [viii] একটি পরিবাহী কুন্ডলীকে স্থির দ্রুতিতে একটি স্থির মানের চৌম্বকক্ষেত্রে আবর্তন করানো হলে কুন্ডলীতে যে

তড়িচ্চালক বল আবিষ্ট হবে তা—

- (A) একমুখী (B) পরিবর্তী
(C) ঘূর্ণাক্ষের উপর নির্ভর করে সমমুখী অথবা পরিবর্তী (D) শূন্য।

[ix] 1 m ব্যাসের একটি বৃত্তাকার কুন্ডলীকে একটি চৌম্বক ক্ষেত্রে গতিশীল রাখা হল। কুন্ডলীতে 5 সেকেন্ডে 10V তড়িচ্চালক বল আবিষ্ট হলে, চৌম্বক ফ্লাক্সের পরিবর্তন—

- (A) 10Wb (B) 5Wb (C) 50Wb (D) 100Wb

[Hints: $d\phi = E dt = 10 \times 5 \text{ Wb}$]

[x] কোন কুন্ডলীতে তড়িৎপ্রবাহের পরিবর্তনের হার 100 As^{-1} হলে 5V তড়িচ্চালক বল আবিষ্ট হয়। কুন্ডলীর স্বাবেশাক্ষ—

- (A) 0.5 H (B) 0.005 H (C) 0.05 H (D) 0.4 H.

[xi] দুটি কুন্ডলীর ভিতর পারস্পরিক আবেশাক্ষ 4H. মুখ্য কুন্ডলীতে 5A তড়িৎপ্রবাহ $\frac{1}{1500}$ সেকেন্ডে বন্ধ করে দিলে

গৌণ কুন্ডলীর প্রাপ্ত যে তড়িচ্চালক বল আবিষ্ট হবে তা—

- (A) 15 kV (B) 60 kV (C) 10 kV (D) 30 kV.

[xii] চৌম্বক ক্ষেত্রে ঋজু পরিবাহীর গতি যে তড়িচ্চালক বলের উদ্ভব করে তার অভিমুখ পাওয়া যায়—

- (A) ফ্রেমিং-এর বামহস্ত নিয়ম থেকে (B) অ্যাম্পিয়ারের সন্তরণ নিয়ম থেকে
(C) ফ্যারাডের সূত্র থেকে (D) ফ্রেমিং-এর ডান হাত নিয়ম থেকে।

[xiii] কোন বর্তনীতে পরিবর্তী প্রবাহ সরবরাহ করার জন্য প্রয়োজন—

- (A) D.C. ডায়নামো (B) A.C. ডায়নামো
(C) মোটর (D) আবেশ যন্ত্র।

[xiv] 0.5 g ভর এবং $2.5 \times 10^{-8} \text{ C}$ ভিত্তিাধান বিশিষ্ট একটি কণাকে $6 \times 10^4 \text{ ms}^{-1}$ অনুভূমিক বেগ দেওয়া হল। কণাটির অনুভূমিক বেগ বজায় রাখতে হলে—

- (A) চৌম্বক ক্ষেত্র গতিবেগের অভিলম্ব হওয়া উচিত,
(B) চৌম্বক ক্ষেত্রে কণার গতির সমান্তরাল হওয়া উচিত,
(C) চৌম্বক ক্ষেত্রের সর্বনিম্ন মান হবে 3.27T,
(D) কোন চৌম্বক ক্ষেত্রের প্রয়োজন নেই।

[xv] কোন কুন্ডলীতে তড়িৎপ্রবাহের পরিবর্তন একক হলে, আবিষ্ট তড়িচ্চালক বল হবে—

- (A) কুন্ডলীর স্বাবেশাক্ষের সমান (B) কুন্ডলীর সাথে জড়িত চৌম্বক ফ্লাক্সের সমান
(C) কুন্ডলীর পাক সংখ্যার সমান (D) কুন্ডলীর বেধের সমান।

[xvi] 220V পরিবর্তী তড়িচ্চালক বলের শীর্ষমান হবে—

- (A) 220V (B) 440V (C) 311V (D) শূন্য।

[xvii] একটি পরিবর্তী তড়িচ্চালক বলকে $E = 200 \sin(100\pi t - \phi)$ ভোল্ট এই সমীকরণ দ্বারা প্রকাশ করা যায়। এই তড়িচ্চালক বলের শীর্ষমান—

- (A) 200V (B) 300V (C) 400V (D) 220V.

[xviii] কোন পরিবর্তী প্রবাহের r.m.s. মান $I_{\text{r.m.s.}}$ এবং শীর্ষমান I_0 হলে এদের সম্পর্ক হবে—

- (A) $I_{\text{r.m.s.}} = \frac{1}{2} I_0$ (B) $I_{\text{r.m.s.}} = \frac{1}{\sqrt{2}} I_0$ (C) $I_{\text{r.m.s.}} = \sqrt{2} \cdot I_0$ (D) $I_{\text{r.m.s.}} = \frac{\sqrt{2}}{I_0}$.

[xix] কোন কুন্ডলীতে তড়িৎপ্রবাহ +2A থেকে -2A এ 0.05 সেকেন্ডে পরিবর্তিত হলে 8V তড়িচ্চালক বল আবিষ্ট হয়। ওই কুন্ডলীর স্বাবেশাক্ষ—

- (A) 0.2H (B) 0.4H (C) 0.8H (D) 0.1H.

[xx] কোন আবেশ কুন্ডলীর পারস্পরিক আবেশাক্ষ 5H হলে এবং মুখ্য কুন্ডলীতে 10^{-3} সেকেন্ডে প্রবাহমাত্রা 5A থেকে শূন্য হলে, গৌণ কুন্ডলীতে আবিষ্ট তড়িচ্চালক বলের মান হয়—

- (A) $2.5 \times 10^3 \text{ V}$ (B) $2.5 \times 10^4 \text{ V}$ (C) $2.5 \times 10^2 \text{ V}$ (D) শূন্য।

[xxi] নিম্নলিখিত ফলগুলির মধ্যে কোনটি পরিবর্তী প্রবাহ প্রদর্শন করে ?

- (A) রাসায়নিক ফল (B) চৌম্বক ফল
(C) তাপীয় ফল (D) সবকটি।

[xxii] পরিবর্তী প্রবাহে আর.এম.এস মান শীর্ষমানের

- (A) 7% (B) 7.7% (C) 70% (D) 70.7%.

[xxiii] একটি চুম্বকের দুই মেরুখন্ডের ভিতর দিয়ে একটি ক্ষুদ্র খাতব তারকে 0.5 s সময়ক টেনে নেওয়া হল। মেরুখন্ডের ভিতর চৌম্বক ফ্লাক্স 8×10^{-4} wb। তারে আবিষ্ট তড়িচ্চালক বল

- (A) 16 mV (B) 1.6 V (C) 16 mV (D) 16 V.

[xxiv] A.C. জেনারেটরে N পাকের কুণ্ডলী আছে। প্রত্যেকের রোধ R; কুণ্ডলী B চৌম্বক ক্ষেত্রে ω কম্পাঙ্ক সহ ঘুরছে। কুণ্ডলীতে আবিষ্ট সর্বোচ্চ তড়িচ্চালক বল

- (A) N.A.B (B) N.A.B.R (C) N.A.B. ω (D) N.A.B.R. ω

[xxv] $i = 15 \sin(60\pi t)$ দ্বারা একটি পরিবর্তী প্রবাহ প্রকাশিত হয় যেখানে t সেকেন্ড এককে আছে। প্রবাহমাত্রার শীর্ষমান, r.m.s মান এবং কম্পাঙ্ক যথাক্রমে

- (A) $15\sqrt{2}$ A, 15A, 60 Hz (B) $15A$, $\frac{15}{\sqrt{2}}$ A, 60 Hz

- (C) 15A, $15\sqrt{2}$ A, 30 Hz (D) $15A$, $\frac{15}{\sqrt{2}}$ A, 30 Hz. [Jt. Entrance 2006]

[xxvi] যদি E পরিবর্তী বিভবের শীর্ষমান হয়, তার r.m.s মান অথবা কার্যকর মান হবে

- (A) $\frac{E}{\pi}$ (B) $\frac{E}{\sqrt{\pi}}$ (C) $\frac{E}{\sqrt{2}}$ (D) $\frac{E}{2}$. [Jt. Entrance 2006]

[xxvii] 10Ω রোধের একটি বন্ধ বর্তনীতে চৌম্বক প্রবাহ ϕ (ওয়েবার এককে) সময় t (সেকেন্ডে)-এর সাথে $\phi = 4t^2 + 6t + 5$ সমীকরণ অনুযায়ী পরিবর্তিত হয়। $t = 0.5$ সেকেন্ডে আবিষ্ট প্রবাহমাত্রার মান হবে

- (A) 1.0 A (B) 0.5 A (C) 2.0 A (D) 0.0 A.

[Jt. Entrance 2006]

[Hints : $e = \frac{d\phi}{dt} = 8t + 6 \therefore i = \frac{8t+6}{10}$; $t = 0.5$ সেকেন্ড প্রবাহ $i = \frac{8 \times 0.5 + 6}{10} = 1A$]

[xxviii] একটি পরিবর্তী তড়িৎ প্রবাহের সমীকরণ $i = 10 \cos(100\pi t)$ । ওই প্রবাহের অর্ধচক্রে গড় মান কত ?

[Jt. Entrance 2006]

- (A) 6.37 A (B) 10 A (C) 5 A (D) 0.

[xxix] t মুহূর্তে একটি কুণ্ডলীর সাথে জড়িত ফ্লাক্স ϕ নিম্নলিখিত সমীকরণ থেকে পাওয়া যায় : $\phi = 10t^2 - 50t + 250$ । $t = 3$ সেকেন্ড মুহূর্তে আবিষ্ট তড়িচ্চালক বল হবে

- (A) -10 V (B) 10 V (C) 190 V (D) -190 V.

[Jt. Entrance 2006]

[xxx] একটি এ.সি. জেনারেটর কুণ্ডলীতে N পাক আছে : প্রত্যেকটি পাকের ক্ষেত্রফল A এবং মোট রোধ R। কুণ্ডলীটি B চৌম্বক ক্ষেত্রে ω কম্পাঙ্কে ঘুরতে থাকলে, কুণ্ডলীতে যে সর্বোচ্চ তড়িচ্চালক বল আবিষ্ট হবে তা

- (A) N.A.B (B) N.A.B.R (C) N.A.B. ω (D) N.A.B.R. ω .

[Jt. Entrance 2006]

[xxxi] নিম্নলিখিত রাশিগুলির মধ্যে কোনটির মাত্রা সূত্র $[ML^2/Q^2]$ হবে ? $Q \rightarrow$ তড়িতাধান বোঝাচ্ছে।

- (A) হেনরি (H) (B) H/m^2 (C) ওয়েবার (Wb) (D) Wb/m^2 . [A.I.E.E. Exam. 2006]

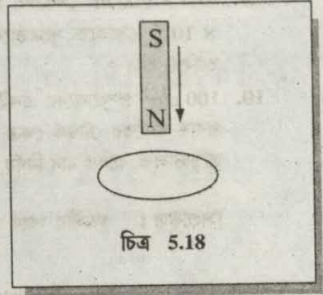
(B) শূন্যস্থান পূরণ করো (Fill up the blanks) :

[i] 500 পাক এবং 0.5 cm ব্যাসার্ধের একটি কুণ্ডলীতে তড়িৎপ্রবাহের দরুন চৌম্বক ক্ষেত্র কুণ্ডলীতে সুঘনভাবে সংশ্লিষ্ট এবং কুণ্ডলীর তলের অভিলম্ব। কুণ্ডলীর স্বাবেশাঙ্ক _____।

[সংকেত : $B = \frac{\mu_0 ni}{2r}$; কুণ্ডলীর সাথে সংশ্লিষ্ট ফ্লাক্স $\phi = BA = \frac{\mu_0 ni}{2r} \times \pi r^2 \therefore L = \frac{\phi}{i} = \frac{\mu_0 n^2}{2} \times \pi r$]

[ii] একটি কুণ্ডলীর তলের অভিলম্বভাবে সংশ্লিষ্ট চৌম্বক ফ্লাক্স ϕ সময় t এর সাথে সমীকরণ $\phi = 10t^2 + 5t + 1$ দ্বারা সংশ্লিষ্ট। ϕ মিলিওয়েবার এবং t সেকেন্ডে প্রকাশিত। $t = 2s$ সময়ে কুণ্ডলীতে আবিষ্ট তড়িচ্চালক বল _____।

- (iii) একটি তার কুন্ডলীতে 2A প্রবাহ গেলে কুন্ডলীর সাথে 1 weber ফ্লাক্স জড়িত হয়। কুন্ডলীতে প্রবাহ পরিবর্তনের হার 1As^{-1} হলে, কুন্ডলীতে আবিষ্ট তড়িচ্চালক বল _____ volt।
- (iv) 1 m দীর্ঘ একটি পরিবাহী তার 0.5T চৌম্বকক্ষেত্রের অভিলম্বভাবে সুখম বেগে গতিশীল হলে তারের প্রান্তদ্বয়ে 2V তড়িচ্চালক বলের উদ্ভব হয়। তারের গতিবেগ _____।
- (v) টেবিলের উপর রাখা একটি কুন্ডলীর দিকে খাড়াভাবে একটি চৌম্বক দ্বিমেরু পড়ছে [চিত্র 5.18]। কুন্ডলীতে আবিষ্ট প্রবাহের দরুন উৎপন্ন চৌম্বক ক্ষেত্রের অভিমুখ হবে _____।
- (vi) হাইড্রোজেন পরমাণুতে ইলেকট্রন 0.5\AA ব্যাসার্ধের বৃত্তপথে সেকেন্ডে 10^6 বার ঘুরে আসে। এর ফলে চৌম্বক ভ্রামক হবে A.m^2 ।



চিত্র 5.18

(C) ভুল কি নির্ভুল বিচার করে (True or false type) :

- [i] একটি ঋজু ধাতব তারকে সুখম চৌম্বক ক্ষেত্রের ভিতর দিয়ে সরিয়ে নিলে তার প্রান্তদ্বয়ের ভিতর তড়িচ্চালক বলের আবেশ হবে।
- [ii] কুন্ডলীতে পরিবর্তনশীল তড়িৎপ্রবাহের দরুন আবিষ্ট তড়িচ্চালক বল সর্বদা তড়িৎপ্রবাহকে হ্রাস করে দেয়।
- [iii] কুন্ডলী দিয়ে স্থায়ী চৌম্বক ফ্লাক্স কুন্ডলীর প্রবাহকে চালু রাখে যদি কুন্ডলী খণ্ডিত না হয়।
- [iv] ধাতব তারের কুন্ডলীকে একটি অসম চৌম্বকক্ষেত্রে স্থির রাখা হল। কুন্ডলীতে তড়িৎপ্রবাহ আবিষ্ট হবে।
- [v] তড়িৎচুম্বকীয় আবেশের বেলায় আবিষ্ট তড়িৎপ্রবাহের অভিমুখ এরূপ হয় যে যে-কারণে প্রবাহের সৃষ্টি হয়, প্রবাহ সর্বদা সেই কারণকে বাধা দেয়।
- [vi] চৌম্বকক্ষেত্রে ঋজু পরিবাহীর গতি যে তড়িচ্চালক বলের উদ্ভব করে তার অভিমুখ ফ্রেমিং-এর বামহস্ত নিয়ম হতে জানা যায়।

→ গাণিতিক প্রশ্ন

- 2 m দীর্ঘ একটি পরিবাহী দণ্ডকে 50cms^{-1} বেগে $6 \times 10^{-5}\text{ Wbm}^{-2}$ শক্তিসম্পন্ন চৌম্বক ক্ষেত্রের ভিতর দিয়ে নিয়ে যাওয়া হচ্ছে। দণ্ডের প্রান্তে কত তড়িচ্চালক বলের উদ্ভব হবে? দণ্ডের রোধ $1.2 \times 10^{-5}\Omega$ হলে, দণ্ডে প্রবাহমাত্রা কত? [Ans. $6 \times 10^{-5}\text{ volt}$; 5A]
- একটি বিমানের ডানার দৈর্ঘ্য 30 m এবং তা একটি অঞ্চল দিয়ে অনুভূমিভাবে 100ms^{-1} বেগে উড়ে যাচ্ছে। ঐ অঞ্চলে ভূ-চৌম্বক ক্ষেত্রের উল্লম্ব উপাংশ $5 \times 10^{-5}\text{ Wbm}^{-2}$ হলে ডানার প্রান্তদ্বয়ে কত বিভব প্রভেদ উৎপন্ন হবে? [Ans. 0.15 V]
- 30 cm দীর্ঘ একটি পরিবাহী তার এক প্রান্তকে কেন্দ্র করে প্রতি মিনিটে 1000 বার আবর্তন করছে এরূপ এক তলে যার ওপর অভিলম্বভাবে 5000 Oe চৌম্বক ক্ষেত্র কাজ করছে। পরিবাহীর দুই প্রান্তের ভিতর উৎপন্ন তড়িচ্চালক বল ভোল্ট এককে নির্ণয় কর। [Ans. 2.36 V]
- একজোড়া সমিহিত কুন্ডলীর পারস্পরিক আবেশাঙ্ক 1.5 henry. যদি মুখ্য কুন্ডলীতে তড়িৎ-প্রবাহ 0.05 সেকেন্ডে 0 হতে 20 A হয়, তাহলে গৌণ কুন্ডলীতে আবিষ্ট তড়িচ্চালক বলের পরিমাণ কত? যদি গৌণ কুন্ডলীর পাক সংখ্যা 800 হয় তাহলে এতে ফ্লাক্সের কী পরিবর্তন হবে? [Ans. 600 V, 24000 Wb]
- মুখ্য কুন্ডলী এবং গৌণ কুন্ডলীর ভিতর পারস্পরিক আবেশাঙ্ক 4 হেনরী। মুখ্য কুন্ডলীর 4A প্রবাহমাত্রা 2.5×10^{-4} সেকেন্ডের মধ্যে বন্ধ হলে গৌণ কুন্ডলীতে আবিষ্ট তড়িচ্চালক বলের মান নির্ণয় করো। [Ans. $6.4 \times 10^4\text{ V}$]
- একটি পরিবর্তী প্রবাহকে $i = 50 \sin 400\pi t$ এই সমীকরণ দ্বারা প্রকাশ করা যায়। প্রবাহের কম্পাঙ্ক, শীর্ষমান এবং গড় বর্গের বর্গমূলমান কত? [Ans. 200; 50 A; 35.36 A]
- একটি পরিবর্তী তড়িচ্চালক বলকে $E = 200 \sin (100\pi t - \phi)$ ভোল্ট—এই সমীকরণ দ্বারা প্রকাশ করা যায়। এই তড়িচ্চালক বলের কম্পাঙ্ক, শীর্ষমান ও গড় বর্গের বর্গমূল মান কত? [Ans. 50; 200 volt; 141.4 volt]
- 100 m \times 5 cm ক্ষেত্রফল এবং 1000 পাক যুক্ত একটি আয়তকর কুন্ডলী 100 gauss প্রাবল্যের একটি চৌম্বক ক্ষেত্রে তার দীর্ঘ বাহুর সমান্তরাল এক অক্ষ বেঁটন করে 3000 r.p.m. বেগে আবর্তন করে। কুন্ডলীতে আবিষ্ট তড়িচ্চালক বলের গরিষ্ঠ মান কত? চৌম্বক ক্ষেত্রের সাথে কুন্ডলী যখন 45° কোণে আনত সেই মুহূর্তে তড়িচ্চালক

বলের মান কত ? $1 \text{ gauss} = 10^{-4} \text{ tesla}$.

[Ans. 15.7V ; 11.2V]

9. $(0.8 \times 0.2) \text{ m}^2$ ক্ষেত্রফল এবং 200 পাক যুক্ত একটি কুণ্ডলীর ভিতর দিয়ে অতিক্রান্ত চৌম্বক ক্ষেত্রের মান যদি 2×10^{-2} সেকেন্ডে সুসমভাবে 0.1 tesla হতে 0.5 tesla-তে পরিবর্তিত হয় তবে কুণ্ডলীতে কত তড়িচ্চালক বল আবিষ্ট হবে ?

[Ans. 640 V]

10. 100 cm^2 প্রস্থচ্ছেদের একটি কুণ্ডলীতে 100 পাক আছে। কুণ্ডলীর তলের সাথে লম্বভাবে 0.1 Wbm^{-2} চৌম্বক প্রবাহ ঘনত্বের চৌম্বক ক্ষেত্র প্রয়োগ করা হল। 0.1 সেকেন্ড সময়ে চৌম্বক ক্ষেত্র সরিয়ে নিলে কুণ্ডলীতে আবিষ্ট তড়িচ্চালক বলের মান নির্ণয় কর।

[Jt. Entrance 2005] [Ans. 1 volt]

[সংকেত : কুণ্ডলীর সাথে জড়িত ফ্লাক্সের পরিবর্তন = $\frac{0.1 \times 100 \times 100}{100 \times 100}$]

ফ্লাক্স পরিবর্তনের হার = $\frac{0.1 \times 100 \times 100}{0.1 \times 100 \times 100} = 1 \text{ volt}$

□ M.C.Q. প্রশ্নের উত্তর □

(A)

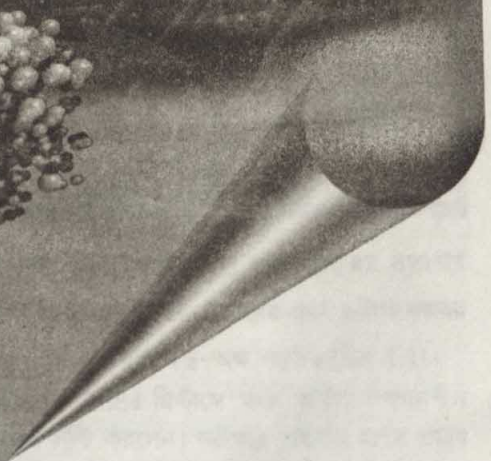
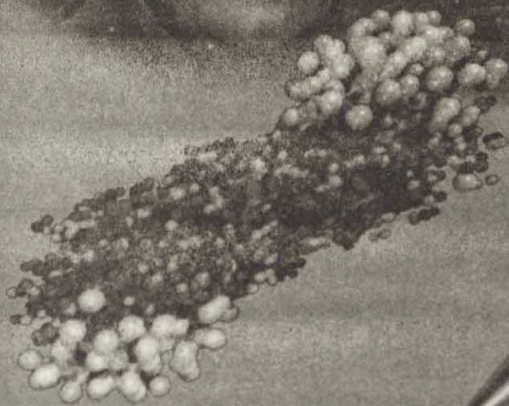
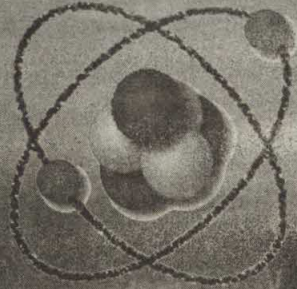
(i) C	(vi) D	(xi) D	(xvi) C	(xxi) C	(xvi) C
(ii) B	(vii) C,D	(xii) D	(xvii) A	(xxii) C	(xvii) A
(iii) A	(viii) B	(xiii) B	(xviii) B	(xxiii) C	(xviii) A
(iv) B	(ix) C	(xiv) A,C	(xix) D	(xxiv) C	(xvix) A
(v) A	(x) C	(xv) A	(xx) A	(xxv) B	(xxx) C
					(xxxix) A

(B) [i] 4.9 mH ; [ii] 45 mV ; [iii] 0.5 ; [iv] 4mS^{-1} ; [v] নিম্নমুখী ; [vi] 1.257×10^{-23} .

(C) [i] নির্ভুল, [ii] নির্ভুল, [iii] ভুল, [iv] ভুল, [v] নির্ভুল, [vi] ভুল।

আধুনিক পদার্থ বিজ্ঞান

MODERN PHYSICS



অমলকায়ার কল্যাণ

Monak Panch



তড়িৎ চুম্বকীয় তরঙ্গ

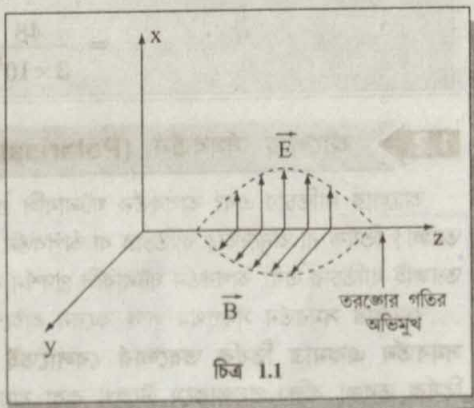
[ELECTROMAGNETIC WAVES]

1.1. তড়িৎচুম্বকীয় তরঙ্গ (Electromagnetic waves) :

1678 খ্রিস্টাব্দে হাইগেনস মত প্রকাশ করেন যে, আলো তরঙ্গের আকারে চলাচল করে। পরবর্তীকালে, ইয়ং, ফ্রেনেল প্রমুখ বিজ্ঞানীরা হাইগেনসের তরঙ্গ তত্ত্বকে দৃঢ়ভাবে প্রতিষ্ঠিত করেন। এই তত্ত্ব অনুযায়ী শব্দের ন্যায় আলোকেও তরঙ্গধর্মী বলে মনে করা হয়। আলোকীয় মাধ্যমে কোনো আন্দোলন (disturbance) সৃষ্টি করলে, ঐ আন্দোলন তরঙ্গের আকারে চতুর্দিকে ছড়িয়ে পড়ে ঠিক যেমন, কোনো স্থির জলাশয়ে ঢিল ফেললে, জলের ওপরতলে তরঙ্গের উদ্ভব হয় যা কালক্রমে জলাশয়ের চতুর্দিকে বিস্তৃত হয়ে পড়ে। হাইগেনস ও ফ্রেনেল মনে করেছিলেন যে আলোক তরঙ্গের মাধ্যমে যান্ত্রিক শক্তি একস্থান থেকে অন্যস্থানে সঞ্চারিত হয় এবং আলোকের সঙ্গে চুম্বকত্ব বা তড়িৎর কোনো সম্পর্ক নেই। তরঙ্গ তত্ত্বের সাহায্যে হাইগেনস প্রতিফলন, প্রতিসরণ প্রভৃতি আলোকীয় ঘটনাবলির সুচারু ব্যাখ্যা দেন।

আলোর তড়িৎ চুম্বকীয় প্রকৃতি সম্বন্ধে প্রথম ইঙ্গিত পাওয়া যায় 1845 খ্রিস্টাব্দে যখন ফ্যারাডে লক্ষ করেন যে একটি সমতল সমবর্তিত (পরবর্তী অনুচ্ছেদে দ্রষ্টব্য) আলোক রশ্মিকে তীব্র চৌম্বকক্ষেত্রের ভিতর দিয়ে ক্ষেত্রের সমান্তরালে পাঠালে, রশ্মির সমবর্তন তলের ঘূর্ণন হয়। এই ঘটনা থেকে ফ্যারাডের মনে এই ধারণা জন্মে যে আলোর সাথে তড়িৎ ও চৌম্বকক্ষেত্রের নিকট সম্বন্ধ আছে। পরবর্তীকালে ম্যাক্সওয়েল আলোর প্রকৃতি সম্বন্ধে এক ভিন্ন ধারণার প্রবর্তন করেন। তিনি বলেন যে আলোক রশ্মির মাধ্যমে যান্ত্রিক শক্তি সঞ্চারনের পরিবর্তে তড়িৎ চুম্বকীয় শক্তির সঞ্চারন ঘটে। ম্যাক্সওয়েলের এই তত্ত্ব তরঙ্গের তড়িৎ চুম্বকীয় তত্ত্বরূপে খ্যাতি লাভ করে।

ম্যাক্সওয়েলের তত্ত্বানুসারে যখন মাধ্যমের ভিতর দিয়ে গতিশীল চৌম্বক ও তড়িৎক্ষেত্রের দ্রুত পর্যাবৃত্ত (periodic) পরিবর্তন ঘটে তখন দৃশ্য ও অদৃশ্য বিকিরণের উদ্ভব হয়। এই দুই ক্ষেত্র মাধ্যমের যে কোনো বিন্দুতে এক সমতলে থেকে পরস্পরের অভিলম্বভাবে ক্রিয়া করে এবং তার দরুন উৎপন্ন বিকিরণ ঐ তলের অভিলম্বভাবে সঞ্চারিত হয়। এই তত্ত্বানুযায়ী আলো হল চৌম্বক ভেক্টর \vec{B} এর সঙ্গে যুগপৎ তড়িৎ ভেক্টর \vec{E} এর কম্পনের সঞ্চারন। উভয় ভেক্টর সর্বদা সমকালীন হয় সমদশায় থাকে এবং পরস্পরের সঙ্গে লম্বভাবে ক্রিয়াশীল থাকে। x -অক্ষ বরাবর \vec{E} ভেক্টরের এবং y -অক্ষ বরাবর চৌম্বক ভেক্টর \vec{B} -এর সঞ্চারন হলে উৎপন্ন তরঙ্গের বেগ-ভেক্টর হবে z -অক্ষ বরাবর [চিত্র 1.1]।



ম্যাক্সওয়েলের তত্ত্বের পরীক্ষামূলক প্রমাণ পাওয়া গেল 1884 খ্রিস্টাব্দে যখন হার্টস স্পন্দনশীল (oscillatory) তড়িৎ প্রবাহ থেকে তড়িৎ চুম্বকীয় তরঙ্গ সৃষ্টি করলেন। পরীক্ষার সাহায্যে হার্টস প্রমাণ

করলেন যে এই তরঙ্গ আলোর মতো প্রতিফলন, প্রতিসরণ, ব্যতিচার ইত্যাদি বিভিন্ন আলোকীয় ধর্মাবলি মেনে চলে। ম্যাক্সওয়েল তত্ত্বীয় আলোচনা করে প্রমাণ করেন যে তড়িৎ চুম্বকীয় তরঙ্গ যে গতিবেগে

চলাচল করে তা $V = \frac{c}{\sqrt{\mu k}}$ যেখানে μ = মাধ্যমের ভেদ্যতা ; k = মাধ্যমের পরা বৈদ্যুতিক ধ্রুবক এবং c = তড়িৎআধানের e.m.u. এবং e.s.u. এককের অনুপাত। শূন্য মাধ্যমের $k = \mu = 1$ এবং $c = 3 \times 10^8$ । অতএব, তড়িৎ-চুম্বকীয় তরঙ্গের গতিবেগ $3 \times 10^8 \text{ ms}^{-1}$ । এটা আলোর গতিবেগের সমান।

তড়িৎ চুম্বকীয় তরঙ্গের প্রধান বৈশিষ্ট্য এই যে এই তরঙ্গের চলাচলের জন্য কোনো মাধ্যমের প্রয়োজন হয় না। তাছাড়া এই তরঙ্গ প্রকৃতিতে তির্যক (transverse)। এই তরঙ্গের তির্যকরূপ প্রতিষ্ঠিত হয় আলোর সমবর্তন ঘটনায়। শব্দতরঙ্গের সমবর্তন হয় না বলে শব্দতরঙ্গ তির্যক নয়—অনুদৈর্ঘ্য। আমরা এখন আলোর সমবর্তন সম্বন্ধে আলোচনা করব।

□ EXAMPLE □

একটি তড়িচ্চুম্বকীয় তরঙ্গে তড়িৎক্ষেত্র $2 \times 10^{10} \text{ Hz}$ কম্পাঙ্কের সাইনীয় (sinusoidal) আন্দোলন সম্পন্ন করছে। আন্দোলনের বিস্তার 48 Vm^{-1} । এই তরঙ্গের তরঙ্গ দৈর্ঘ্য কত ? আন্দোলিত চৌম্বকক্ষেত্রের বিস্তার কত ?

উঃ। (i) তরঙ্গদৈর্ঘ্য $\lambda = \frac{c}{\nu}$ [তরঙ্গের গতিবেগ = c]

$$= \frac{3 \times 10^8}{2 \times 10^{10}} = 1.5 \times 10^{-2} \text{ m} = 1.5 \text{ cm}$$

(ii) চৌম্বক ক্ষেত্রের বিস্তার $B_0 = \frac{\text{তড়িৎক্ষেত্রের বিস্তার}}{c}$

$$= \frac{48}{3 \times 10^8} = 1.6 \times 10^{-8} \text{ T.}$$

1.2. আলোর সমবর্তন (Polarisation of light) :

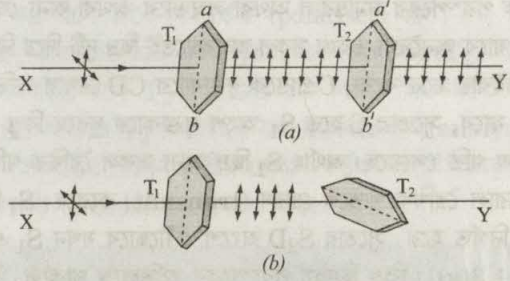
আলোর ব্যতিচার এবং অপবর্তন ঘটনাবলি প্রমাণ করে যে আলো তরঙ্গধর্মী। কিন্তু কোন্ ধরনের তরঙ্গ? তির্যক না অনুদৈর্ঘ্য? ব্যতিচার বা অপবর্তন ঘটনাবলির ব্যাখ্যায় এ প্রশ্ন ওঠে না কারণ উভয় প্রকার তরঙ্গই ব্যতিচার এবং অপবর্তন ঘটনাবলি প্রদর্শন করে। এই প্রশ্নের সমাধান হবে আলোর সমবর্তন দ্বারা।

আলোর সমবর্তন সর্বপ্রথম লক্ষ করেন হাইগেনস 1690 খ্রিস্টাব্দে। আমরা পরে দেখতে পাব যে সমবর্তন একমাত্র তির্যক তরঙ্গের বেলাতেই সম্ভব। এই কারণে আমরা তড়িৎ চুম্বকীয় তরঙ্গকে তির্যক তরঙ্গ বলি। প্রসঙ্গক্রমে উল্লেখ করা যায়, শব্দও তরঙ্গধর্মী কিন্তু গ্যাস মাধ্যমে শব্দতরঙ্গ অনুদৈর্ঘ্য বলে এর সমবর্তন হয় না।

টুরাম্যালিন কেলাসের দ্বারা পরীক্ষা (Experiments with tourmaline crystal) : টুরাম্যালিন কেলাস অনেকগুলি ধাতুর অক্সাইডের রাসায়নিক সংমিশ্রণে তৈরি। এটা স্বচ্ছ এবং ঈষৎ সবুজ বর্ণের ষড়ভুজবিশিষ্ট (hexagonal) কেলাস। ঐ কেলাসের প্রস্থচ্ছেদের সর্ববৃহৎ কর্ণকে (1.2 নং চিত্রে ab) বলা হয় তার আলোকীয় অক্ষ (optic axis)।

1.2 নং চিত্রে T_1 এরূপ একটি কেলাসের পাতলা ফালি। একগুচ্ছ সরু আলোকরশ্মি XY রেখা বরাবর ঐ কেলাসের সমতল তলে (flat surface) অভিলম্বভাবে আপতিত হয়েছে। আপতিত আলোর কিয়দংশ

কেলাসের ভিতর দিয়ে অপরপার্শ্বে নির্গত হবে। খালি চোখে ঐ নির্গত আলো-কে দেখলে, আলোর তীব্রতার কোনো হেরফের হবে না, তবে কেলাসের প্রকৃতির ওপর নির্ভর করে সামান্য একটু রঙিন হবে। এইবার XY রেখাকে অক্ষ করে T_1 কেলাসকে যদি ধীরে ধীরে ঘুরানো হয় তাহলেও নির্গত আলোর তীব্রতা বা বৈশিষ্ট্যের কোনো পরিবর্তন দেখা যাবে না। নির্গত আলো-কে এখন ঐরূপ আর একটি



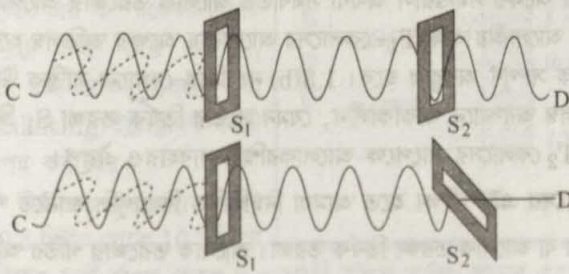
চিত্র 1.2

কেলাস T_2 -এর ওপর ফেলা হল। দ্বিতীয় কেলাসের আলোকীয় অক্ষ $a'b'$ প্রথম কেলাসের আলোকীয় অক্ষের (ab) সমান্তরাল থাকলে, দেখা যাবে আলো দ্বিতীয় কেলাসের ভিতর দিয়ে পরিপূর্ণভাবে নির্গত হয়ে এসেছে [চিত্র 1.2(a)]। তার তীব্রতার কোনো পরিবর্তন হয়নি। কিন্তু T_1 কেলাসকে স্থির রেখে এবং XY রেখাকে অক্ষ করে T_2 কেলাসকে ধীরে ধীরে ঘোরালে, নির্গত আলোকরশ্মির তীব্রতা ধীরে ধীরে ক্ষীণ হতে দেখা যাবে। যখন কেলাস দুটির আলোকীয় অক্ষ পরস্পরের অভিলম্ব হবে তখন দ্বিতীয় কেলাস দিয়ে আর কোনো আলোই নির্গত হবে না [চিত্র 1.2(b)]। এই অবস্থায় বলা হয় কেলাস দুটি আড়াআড়ি (crossed) ভাবে আছে।

যদি T_2 কেলাসকে একই দিকে আরও ঘুরানো হয়, তবে তাদের আলোকীয় অক্ষ আবার পরস্পরের সমান্তরাল হতে থাকবে এবং আলোও দ্বিতীয় কেলাস দিয়ে একটু একটু করে নির্গত হবে। T_2 কেলাসকে পূর্ণ 180° ঘোরালে অক্ষদ্বয় পুনরায় পরস্পরের সমান্তরাল হবে এবং আলোও প্রারম্ভিক তীব্রতায় নির্গত হবে।

টুরম্যালিন কেলাসের উপরিউক্ত সহজ পরীক্ষা হতে আমরা এই কথা জানতে পারি যে, প্রথম কেলাসের ভিতর দিয়ে নির্গত আলো এমন একটি বৈশিষ্ট্যের অধিকারী হয় যার ফলে, দ্বিতীয় কেলাসের এক বিশেষ অবস্থানে ঐ আলো সম্পূর্ণরূপে বৃদ্ধ হয়; আবার অন্য এক বিশেষ অবস্থানে আলো সম্পূর্ণরূপে নির্গত হয়। আলোর এই বৈশিষ্ট্যকে সমবর্তন (polarisation) বলে।

টুরম্যালিন কেলাসের সাপেক্ষে আলোর উপরিউক্ত বিচিত্র ব্যবহার সহজে বোঝার জন্য আমরা একটি যান্ত্রিক উদাহরণের সাহায্য নেব।



চিত্র 1.3

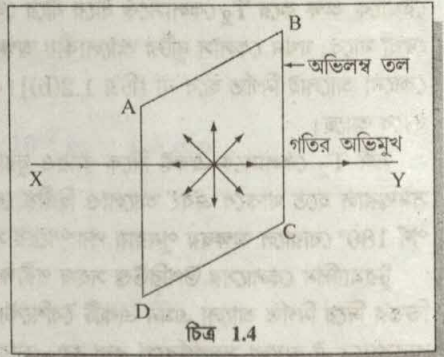
S_1 এবং S_2 দুটি কার্ডবোর্ডে লম্বালম্বি সরু ছিদ্র করা হল এবং ছিদ্র দুটিকে পরস্পরের সমান্তরাল রেখে তাদের ভিতর দিয়ে একটি সুতো CD গলিয়ে দেওয়া হল (চিত্র 1.3)। সুতোর D প্রান্ত আবদ্ধ রেখে C

প্রান্তকে সুতোর দৈর্ঘ্য বরাবর সামনে-পিছনে নাড়ালে সুতো বরাবর একটি অনুদৈর্ঘ্য তরঙ্গা চলে যাবে। ছিদ্র দুটিকে পরস্পরের সমান্তরাল অথবা লম্বভাবে অথবা অন্য যে-কোনো অবস্থাতেই রাখা হোক না কেন, দেখা যাবে অনুদৈর্ঘ্য তরঙ্গা সকল অবস্থাতেই ছিদ্র দুটি দিয়ে নির্গত হয়ে সুতার $S_2 D$ অংশে চলে এসেছে।

এইবার মনে করো, C প্রান্তকে বৃত্তাকারে CD রেখার অভিলম্বভাবে এলোমেলোভাবে নাড়ানো হচ্ছে। দেখা যাবে, সুতার C হতে S_1 অংশ বৃত্তাকারে ঘুরছে কিন্তু S_1 ছিদ্রের পরের অংশ ছিদ্রের সমান্তরালে রৈখিক গতি পেয়েছে। অর্থাৎ S_1 ছিদ্র অন্য সকল রৈখিক গতিকে বৃদ্ধ করে কেবলমাত্র নিজের দৈর্ঘ্যের সমান্তরাল রৈখিক গতিকে প্রেরণ (transmit) করেছে। S_1 ছিদ্রের সমান্তরালে ঐ রৈখিক গতি S_2 ছিদ্র দিয়ে নির্গত হয়ে সুতার $S_2 D$ অংশে পৌঁছোবে যখন S_1 এবং S_2 ছিদ্রদ্বয় পরস্পরের সমান্তরাল হবে [চিত্র 1.3(a)]। কিন্তু ছিদ্রদ্বয় পরস্পরের অভিলম্বে থাকলে, উক্ত রৈখিক গতি S_2 ছিদ্র দিয়ে নির্গত হতে পারবে না। ফলে, সুতার $S_2 D$ অংশ কোনো গতি না পেয়ে স্থির অবস্থায় থাকবে [চিত্র 1.3(b)]।

এইবার পূর্ববর্ণিত টুরম্যালিন কেলাসের পরীক্ষার কথায় আসা যাক। দ্বিতীয় কেলাস T_2 এক বিশেষ অবস্থানে থাকলে আলো সম্পূর্ণরূপে বৃদ্ধ হয়—এই ঘটনা প্রমাণ করে যে আলোক-তরঙ্গা অনুদৈর্ঘ্য তরঙ্গা নয় কারণ অনুদৈর্ঘ্য তরঙ্গা হলে, দ্বিতীয় কেলাসের কোনো অবস্থাতেই ঐ আলো অববৃদ্ধ হত না, যেমন S_1 এবং S_2 ছিদ্রদ্বয়ের কোনো অবস্থাতেই সুতো বরাবর অনুদৈর্ঘ্য তরঙ্গাকে অবরোধ করা যায় না।

অতএব, সাধারণ আলোক তরঙ্গাকে আমরা তির্যক বলে গণ্য করতে পারি—যে তরঙ্গের ফলে মাধ্যমের কণাগুলি তরঙ্গের গতির অভিমুখের অভিলম্বতলে অবস্থান করে সকল প্রকার অভিমুখেই আন্দোলিত হবে (চিত্র 1.4)। এই আলো-কে সাধারণ আলো বা অসমবর্তিত আলো (unpolarised light) বলা হয়। যখন ঐরূপ অসমবর্তিত আলোকরশ্মি প্রথম কেলাসের (T_1) ভিতর দিয়ে নির্গত হয় তখন ঐ কেলাস নিজের আলোকীয় অক্ষ ab -এর সমান্তরাল আন্দোলন ছাড়া অন্য সকল প্রকার আন্দোলনকে শোষণ করে নেয় [চিত্র 1.3(a)]। ফলে নির্গত আলোকরশ্মিতে যে আন্দোলন থাকবে তা রশ্মির গতির অভিমুখে অভিলম্বতলে একটি



বিশেষ দিকে সীমাবদ্ধ থাকবে। আলোর এই ধরনের একপেশে ধর্মকে (one-sided property) বলা হয় সমবর্তন এবং রশ্মিকে বলা হয় সমতল সমবর্তিত আলোকরশ্মি (plane polarised ray)। এই সমবর্তিত আলোকরশ্মি T_2 কেলাস ভেদ করে নির্গত হবে যদি ঐ কেলাসের আলোকীয় অক্ষ T_1 কেলাসের আলোকীয় অক্ষের সমান্তরাল অথবা সমবর্তিত আলোক তরঙ্গের আন্দোলনের সমান্তরাল হয়। আর T_2 -কেলাসের আলোকীয় অক্ষ T_1 -কেলাসের আলোকীয় অক্ষের অভিলম্ব হলে, ঐ আলোক তরঙ্গা দ্বিতীয় কেলাস কর্তৃক সম্পূর্ণ অববৃদ্ধ হবে। 1.3(b) নং চিত্রে দেখানো যান্ত্রিক উদাহরণে S_1 এবং S_2 ছিদ্রদ্বয় পরস্পরের লম্ব অবস্থানে থাকাকালীন, যেমন সুতার তির্যক তরঙ্গা S_1 ছিদ্র দিয়ে এসে S_2 ছিদ্র দ্বারা অববৃদ্ধ হয়, T_2 কেলাসের সাপেক্ষে আলোকরশ্মিও ব্যবহারও ঐরূপ।

টুরম্যালিন কেলাসের এই পরীক্ষা হতে আমরা নিম্নলিখিত বিষয়গুলি জানতে পারি :—

(i) তড়িৎ চুম্বকীয় বা আলোক তরঙ্গা তির্যক তরঙ্গা; আলোক তরঙ্গের গতির অভিমুখের অভিলম্বতলে মাধ্যমের কণাগুলির আন্দোলনের ফলে ঐ তরঙ্গের সৃষ্টি হয়। ঐ আলো-কে সাধারণ আলো বা অসমবর্তিত আলো বলা হয়।

(ii) অসমবর্তিত আলো টুরম্যালিন কেলাসের ওপর আপতিত হলে, ঐ কেলাসের একটি বিশেষ অভিমুখে আন্দোলন ছাড়া আলোক তরঙ্গের অন্যান্য আন্দোলনকে কেলাস শোষণ করে নেয়; ফলে,

নির্গত আলো একপেশে ধর্ম লাভ করে যার জন্য ঐ আলো-কে সমবর্তিত আলো বলা হয়। 1.3 (a) নং চিত্রে T_1 কেলাস সমবর্তিত আলো উৎপন্ন করে বলে তাকে সমবর্তক (polariser) বলে।

(iii) আলোকরশ্মি সমবর্তিত কিনা তা T_1 -এর ন্যায় আর একটি টুরম্যালিন কেলাসের (T_2) সাহায্যে পরীক্ষা করা যেতে পারে। আলোকরশ্মি সমবর্তিত হলে T_2 কেলাসের এক বিশেষ অবস্থানে আলো সম্পূর্ণরূপে অবরুদ্ধ হবে। এই কারণে 1.3 (a) নং চিত্রে T_2 কেলাসকে বলা হয় বিশ্লেষক (analyser)।

(iv) প্রথম কেলাস হতে নির্গত আলো (সমবর্তিত) যখন দ্বিতীয় কেলাস কর্তৃক সম্পূর্ণ অবরুদ্ধ হয় তখন বলা হয় সমবর্তক ও বিশ্লেষক আড়াআড়ি (crossed) অবস্থানে আছে।

1.3. তড়িৎচুম্বকীয় বর্ণালী (Electromagnetic spectrum):

তরঙ্গ দৈর্ঘ্য অথবা কম্পাঙ্ক অনুযায়ী সকল প্রকার তড়িৎ চুম্বকীয় বিকিরণকে ক্রমান্বয়ে সাজালে, তাকে তড়িৎ চুম্বকীয় বর্ণালী বলা হয়। 1.5 নং চিত্রে ঐ বর্ণালীর সজ্জা দেখানো হয়েছে।

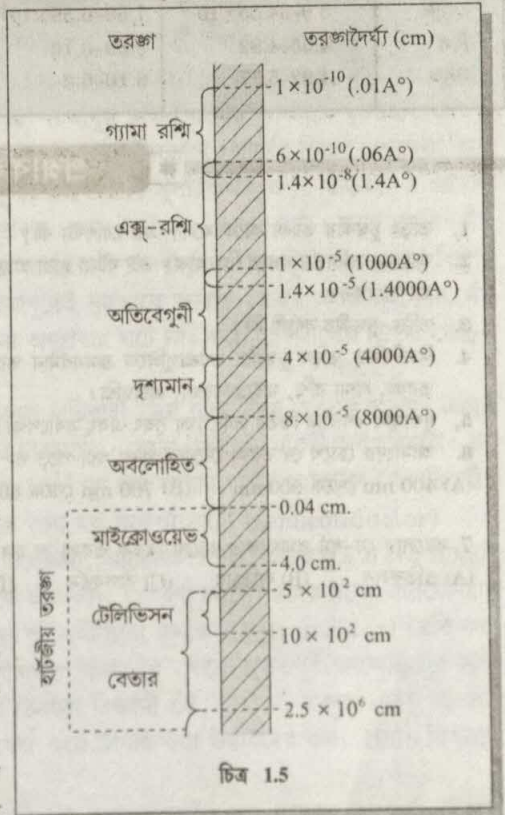
তড়িৎ চুম্বকীয় তরঙ্গের কম্পাঙ্ক বা তরঙ্গদৈর্ঘ্য বহু বিস্তৃত। এই সকল তরঙ্গের শ্রেণি বিভাগ সূতীক্ষ্ম (sharp) সীমারেখায় বিভক্ত নয়। এর কারণ এই যে শ্রেণি বিভাগ করা হয়েছে মূল উৎস অনুযায়ী; আবার বিভিন্ন উৎস সমাপতিত (overlapping) কম্পাঙ্কের বিকিরণ উৎপাদন করে।

সৌর বর্ণালী এবং বিভিন্ন বস্তু কর্তৃক সৃষ্ট বর্ণালীর অন্তর্গত বিভিন্ন তরঙ্গ দৈর্ঘ্যের বিকিরণ পর্যালোচনা করে দেখা গিয়েছে যে দৃশ্যমান বর্ণালী বা অবলোহিত ও অতিবেগুনি বর্ণালী অতিক্রম করেও ছোটো-বড়ো নানারকমের তরঙ্গ দৈর্ঘ্যযুক্ত বিকিরণ আছে, যাদের ধর্মাবলি সাধারণ আলোর ধর্মাবলির মতো। এদের বলা হয় তড়িৎচুম্বকীয় তরঙ্গ (electro-magnetic waves)। সকল তড়িৎচুম্বকীয় তরঙ্গের গতিবেগ আলোর গতিবেগের সমান; এদের প্রতিফলন, প্রতিসরণ, ব্যতিচার প্রভৃতি সকল ধর্মাবলিই বর্তমান।

বেতার-তরঙ্গ (Radio waves): এই তরঙ্গের তরঙ্গদৈর্ঘ্য কয়েক কিলোমিটার থেকে 0.3 মিটার পর্যন্ত বিস্তৃত। এর কম্পাঙ্কের বিস্তার কয়েক হাঁস থেকে 10^9 হাঁস পর্যন্ত। দূরদর্শন, বেতার প্রভৃতির কাজে এই তরঙ্গ ব্যবহার করা হয়। স্পন্দনশীল (oscillating) ইলেক্ট্রনিক বর্তনী দ্বারা এই তরঙ্গ উৎপন্ন করা হয়।

মাইক্রোওয়েভস (Micro waves): এদের তরঙ্গদৈর্ঘ্যের বিস্তার 0.3 মিটার থেকে 10^{-3} মিটার পর্যন্ত। কম্পাঙ্কের বিস্তার 10^9 হাঁস থেকে 3×10^{11} হাঁস পর্যন্ত। রাদার এবং অন্যান্য যোগাযোগ ব্যবস্থায় (communication system) এই তরঙ্গ ব্যবহার করা হয়। তাছাড়া পারমাণবিক ও আণবিক গঠনের সূক্ষ্ম পর্যবেক্ষণেও মাইক্রোওয়েভস্ কাজে লাগানো হয়।

দৃশ্যমান বর্ণালীর ভিতর সর্বাপেক্ষা বৃহৎ তরঙ্গ-দৈর্ঘ্যের লাল আলোর তরঙ্গ-দৈর্ঘ্য 7×10^{-7} m অর্থাৎ 7000 Å এবং সর্বাপেক্ষা ক্ষুদ্র-তরঙ্গ-দৈর্ঘ্যের বেগুনি আলোর প্রায় 4×10^{-7} m



অথবা 4000 \AA° [চিত্র 1.5]। বেগুনি আলো অপেক্ষা ক্ষুদ্রতর তরঙ্গ-দৈর্ঘ্যের আলো হল অতিবেগুনি আলো। অতিবেগুনি অঞ্চলের তরঙ্গ-দৈর্ঘ্য 4000 \AA° হতে প্রায় 1000 \AA° পর্যন্ত বিস্তৃত। এথেকে ক্ষুদ্রতর তরঙ্গ দৈর্ঘ্যের রশ্মি হল এক্সরশ্মি (X-rays)। এর তরঙ্গ দৈর্ঘ্য 1400 \AA° হতে 0.06 \AA° পর্যন্ত বিস্তৃত। তেজস্ক্রিয় বস্তু (radioactive substance) হতে নির্গত গামা রশ্মির (Gamma rays) তরঙ্গ-দৈর্ঘ্য আরও ছোটো। 1.4 \AA° হতে 0.01 \AA° তরঙ্গ দৈর্ঘ্যের গামা রশ্মি পাওয়া গিয়েছে।

দৃশ্যমান বর্ণালীর সর্ববৃহৎ তরঙ্গ দৈর্ঘ্যের লাল আলো অপেক্ষা দীর্ঘতর তরঙ্গ হল অবলোহিত আলো (infra red rays)। এই আলোর তরঙ্গ দৈর্ঘ্যের পাল্লা 7000 \AA° থেকে 0.04 cm পর্যন্ত।

আরও বৃহৎ দৈর্ঘ্যের তড়িৎ চুম্বকীয় বিকিরণকে সাধারণভাবে হার্টজীয় তরঙ্গ (Hertzian waves) বলা হয়। এদের ভিতর আছে বেতার তরঙ্গ ও দূরদর্শন (বা টেলিভিশন) তরঙ্গ। এদের তরঙ্গদৈর্ঘ্যের পাল্লা 4×10^{-4} থেকে 2.5×10^4 পর্যন্ত।

দৃশ্যমান আলোর তরঙ্গদৈর্ঘ্য ও কম্পাঙ্ক

বর্ণ	λ (metre)	ν (Hz)	বর্ণ	λ (metre)	ν (Hz)
বেগুনি	$3.9-34.55 \times 10^{-7}$	$7.69-6.59 \times 10^{14}$	হলুদ	$5.77-5.97$	$5.20-5.03$
নীল	$4.55-4.92$	$6.59-6.10$	কমলা	$5.97-6.22$	$5.03-4.82$
সবুজ	$4.92-5.77$	$6.10-5.2$	লাল	$6.22-7.8$	$4.82-3.84$



প্রশ্নাবলি



১. তড়িৎ চুম্বকীয় তরঙ্গ কাকে বলে? এর বৈশিষ্ট্য কী?
২. আলোর সমবর্তন বলতে কি বোঝ? এই ঘটনা দ্বারা আলোর প্রকৃতি সম্বন্ধে কী জানা যায়? শব্দ তরঙ্গের সমবর্তন হয় না কেন?
৩. তড়িৎ-চুম্বকীয় বর্ণালী কী?
৪. নিম্নলিখিত তড়িৎ চুম্বকীয় তরঙ্গগুলিকে ক্রমবর্ধমান তরঙ্গদৈর্ঘ্য অনুযায়ী সাজাও : রেডিও তরঙ্গ, অতিবেগুনি তরঙ্গ, গামা রশ্মি, মাইক্রোতরঙ্গ, এক্সরশ্মি।
৫. দৃশ্যমান বর্ণালীর ভিতর সর্বাপেক্ষা বৃহৎ এবং সর্বাপেক্ষা ক্ষুদ্র তরঙ্গ দৈর্ঘ্যের তরঙ্গ কী কী?
৬. আমাদের চোখে যে তরঙ্গ দৈর্ঘ্যের পাল্লা ধরা পড়ে তা
(A) 400 nm থেকে 900 nm (B) 700 nm থেকে 800 nm (C) 0 থেকে ∞ (D) $-\infty$ থেকে $+\infty$

[Ans. (A)]

৭. আলোর যে-ধর্ম প্রমাণ করে আলো তির্যক তরঙ্গ তা হল

- (A) প্রতিফলন (B) ব্যতিচার (C) অপবর্তন (D) সমবর্তন।

[Ans. (D)]

[Jt. Entrance 2006]



অর্ধপরিবাহী ও ইলেকট্রনিক্স

[SEMICONDUCTOR AND ELECTRONICS]

2.1.

পরিবাহী, অন্তরক ও অর্ধপরিবাহী (Conductor, insulator and semi-conductor) :

যে সকল পদার্থ খুব সহজে তড়িৎ পরিবহন করে তাদের বলা হয় পরিবাহী। তামা, সোনা, রূপা ইত্যাদি তড়িৎের সুপরিবাহী।

আবার যে সকল পদার্থ সহজে তড়িৎ পরিবহন করে না তাদের বলা হয় অন্তরক; যেমন, কোয়ার্টজ, অভ্র, গন্ধক ইত্যাদি। পরমাণুর ইলেকট্রনীয় গঠনতত্ত্ব দ্বারা পদার্থের তড়িৎ পরিবাহিতা বা অপরিবাহিতা ব্যাখ্যা করা যায়। তড়িৎের সুপরিবাহী পদার্থগুলির ক্রিস্টালিন গঠন (crystalline structure) এরূপ যে, কোনো পরমাণুর অপূর্ণ খোলকের ভ্যালেন্স ইলেকট্রনগুলি পাশ্চাত্য পরমাণুগুলিতে চলে এসে তাদের অপূর্ণ খোলক পূর্ণ করতে পারে। এভাবে পরমাণু হতে পরমাণুতে এদের চলাফেরা করার স্বাধীনতা আছে। অভ্যন্তরস্থ পূর্ণ খোলকের ইলেকট্রনগুলি, অবশ্য ঐ পরমাণুর নিউক্লিয়াসের আকর্ষণে দৃঢ়ভাবে আবদ্ধ থাকে। অপূর্ণ খোলকের ভ্যালেন্স ইলেকট্রনগুলি উক্ত পদ্ধতিতে স্বাধীনভাবে পদার্থের ভিতর চলাফেরা করে তড়িৎ পরিবহন করে এবং পদার্থটিকে তড়িৎের সুপরিবাহী করে। সুপরিবাহীর ওপর তড়িৎক্ষেত্র প্রয়োগ করলে, স্বাধীন ইলেকট্রনগুলি ক্ষেত্রের অভিমুখে অণুপ্রবাহ বেগ (drift velocity) পায় ; ফলে সুপরিবাহীর ভিতর দিয়ে তড়িৎপ্রবাহ ঘটে। অপরপক্ষে, তড়িৎের অপরিবাহী পদার্থগুলির পরমাণুতে ঐ ধরনের বিশেষ কোনো স্বাধীন ইলেকট্রন নেই—ইলেকট্রনগুলি পরমাণুতেই দৃঢ়ভাবে আবদ্ধ থাকে। অপরিবাহী পদার্থের ওপর তড়িৎক্ষেত্র প্রয়োগ করলে ইলেকট্রনের কোনো অণুপ্রবাহ ঘটে না; ফলে ঐ পদার্থের ভিতর কোনো তড়িৎপ্রবাহ দেখা যায় না।

আবার এমন কতকগুলি পদার্থ আছে যারা ভালো পরিবাহী নয় কিন্তু উত্তম অন্তরকও নয়। এদের পরিবাহিতা সুপরিবাহী পদার্থ এবং অন্তরক পদার্থের মাঝামাঝি। যেমন, সিলিকন একটি অর্ধপরিবাহী। এর পরিবাহিতা তামা (সুপরিবাহী)র পরিবাহিতার তুলনায় 10^{11} গুণ কম আবার গলিত কোয়ার্টজ (অপরিবাহী) এর তুলনায় 10^{13} গুণ বেশি। এই সকল পদার্থকে বলা হয় অর্ধপরিবাহী (semiconductor)

অর্ধপরিবাহী পদার্থের ইলেকট্রনগুলিকে তাপীয় উত্তেজনা, আলোকসম্পাত, তড়িৎক্ষেত্র প্রভৃতি প্রয়োগে গতিশীল করা যায়। নানাপ্রকার অর্ধপরিবাহী সম্পর্কে আজকাল গবেষণা চলছে। এদের মধ্যে জারমেনিয়াম এবং সিলিকন খুবই উল্লেখযোগ্য কারণ এই দুটি অর্ধপরিবাহী দ্বারা ট্রানজিস্টর (transistor) তৈরি করা হয়। ট্রানজিস্টরের আবিষ্কার বেতার এবং ইলেকট্রনিকস বিজ্ঞানের ক্ষেত্রে অভূতপূর্ব আলোড়নের সৃষ্টি করেছে। আমেরিকার বেল টেলিফোন লেবরেটরির তিনজন বিজ্ঞানী জে, বার্ডিন, সকলে এবং ডবলুউ ব্রাটেন জারমেনিয়াম এবং সিলিকনের ওপর গবেষণা করে ট্রানজিস্টর উদ্ভাবনের জন্য 1956 খ্রিস্টাব্দে নোবেল পুরস্কার পান।

● **পটি তত্ত্ব (Band theory) :** বর্তমানে পরিবাহী, অর্ধপরিবাহী এবং অন্তরক পদার্থের ভিতর পার্থক্য করা হয় পটি তত্ত্বের সাহায্যে। পটি তত্ত্ব তাত্ত্বিক দিক হতে খুবই জটিল; এর বিস্তারিত বিবরণ এই স্তরে সম্ভব নয়। তাই এই তত্ত্বের সাহায্যে কীভাবে উপরোক্ত পার্থক্য করা হয় কেবল সে সম্বন্ধে সংক্ষেপে আলোচনা করা হল।

বোর তত্ত্ব হতে আমরা জানি যে কোনো বিচ্ছিন্ন পরমাণুর ইলেকট্রনগুলি নিউক্লিয়াসকে ঘিরে কয়েকটি নির্দিষ্ট শক্তিস্তর (discrete energy state) বিশিষ্ট কক্ষপথে আবর্তন করে। এখন, কোনো কেলাসিত

পদার্থের (crystalline substance)

পরমাণুগুলি খুব কাছাকাছি থেকে একটি

ধারাবাহিক সজ্জায় সজ্জিত থাকে। একে

কেলাসের ‘জাফরি-গঠন’ (lattice

structure) বলা হয়। এরূপ জাফরি-

গঠনে যদি দুটি পরস্পর সংবন্ধ পরমাণুর

কথা বিবেচনা করা যায় তাহলে প্রতিটি

পরমাণুর জন্য কতকগুলি অবচ্ছিন্ন

শক্তিস্তর থাকবে। কিন্তু পরমাণু দুটির

পারস্পরিক ক্রিয়া-প্রতিক্রিয়ার ফলে,

শক্তিস্তরের সংখ্যা বৃদ্ধি পায় এবং

স্তরগুলির শক্তিও ভিন্ন হয়। কোনো কেলাসে যদি N সংখ্যক পরমাণু থাকে তাহলে তাদের পারস্পরিক

ক্রিয়া-প্রতিক্রিয়ায় প্রতিটি পরমাণুর জন্য বোর তত্ত্ব হতে প্রাপ্ত যে-কোনো শক্তিস্তর N সংখ্যক বিভিন্ন স্তরে

বিভাজিত হয়ে যাবে। বিভাজিত শক্তিস্তরগুলি এত ঘন সম্মিলিত থাকে যে তাদের আর পৃথক শক্তিস্তর বলে

মনে হয় না; বর্তুত, সেগুলিকে একটি নিরবচ্ছিন্ন (continuous) শক্তিপটি (energy band) বলে মনে

হয়। সাধারণত এরূপ দুটি শক্তিপটি পরস্পর হতে একটি অঞ্চল দ্বারা বিচ্ছিন্ন থাকে—যে অঞ্চলকে বলা

হয় নিষিদ্ধ অঞ্চল (forbidden zone) (চিত্র 2.1)।

পাউলির বর্জন নীতি হতে দেখা যায় যে পরমাণুর অভ্যন্তরীণ ইলেকট্রনগুলি নিম্নতর শক্তিপটিতে

অবস্থান করে। স্বাভাবিক অবস্থায় নিম্নতর শক্তিসম্পন্ন এই পটিকে বলা হয় ‘সংযোজী পটি’ (valence

band)। সংযোজী পটি অপেক্ষা অধিক শক্তিসম্পন্ন পটিকে বলা হয় ‘পরিবাহী পটি’ (conduction

band)।

যে পদার্থের বেলায় নিষিদ্ধ অঞ্চল বিলুপ্ত হয়ে সংযোজী পটি এবং পরিবাহী পটি পরস্পরের ওপর

সমাপতিত হয় তাকে বলা হয় পরিবাহী পদার্থ (চিত্র 2.1)। যদি সংযোজী পটি এবং পরিবাহী পটি পরস্পর

হতে 3 eV অপেক্ষা বেশি শক্তি সমন্বিত নিষিদ্ধ অঞ্চল দ্বারা পৃথক হয়ে থাকে, তবে সেই পদার্থ হয় অন্তরক।

নিষিদ্ধ অঞ্চলের শক্তি (E_g) 2 eV অপেক্ষা কম হলে, পদার্থ অর্ধপরিবাহী হয়।

জার্মেনিয়াম এবং সিলিকন মৌলের নিষিদ্ধ অঞ্চলের শক্তির মান (E_g) যথাক্রমে 0.7 eV এবং 1.1 eV।

এই কারণে ঐ দুটি পদার্থ উত্তম অর্ধপরিবাহী। নিম্নতাপমাত্রায় ঐ পরমাণুর ইলেকট্রনগুলি উপরোক্ত শক্তি

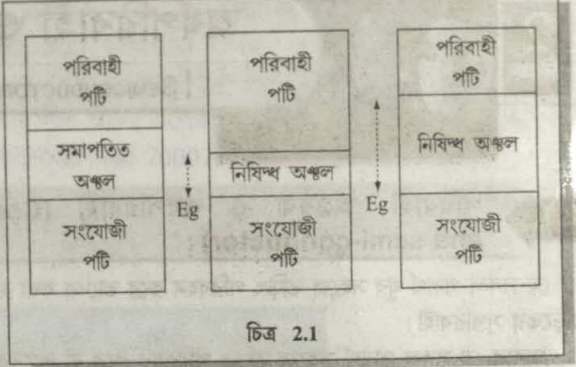
সংগ্রহ করতে পারে না বলে সংযোজী পটিতেই থেকে যায়। কিন্তু অল্প উত্তপ্ত করলেই কিছু কিছু ইলেকট্রন

প্রয়োজনীয় শক্তি সংগ্রহ করে নিষিদ্ধ অঞ্চল অতিক্রম করে সংযোজী পটি হতে পরিবাহী পটিতে চলে যায়

এবং পদার্থটি তখন তড়িৎ পরিবাহী হয়ে পড়ে। এই কারণে অর্ধপরিবাহী বস্তুর উষ্ণতা বৃদ্ধি করলে,

তার তড়িৎ-পরিবাহিতা বৃদ্ধি পায় অথবা রোধ হ্রাস পায়। লক্ষ কর তড়িৎপরিবাহী বস্তুর বেলায়

ঠিক উল্টো ঘটনা ঘটে।



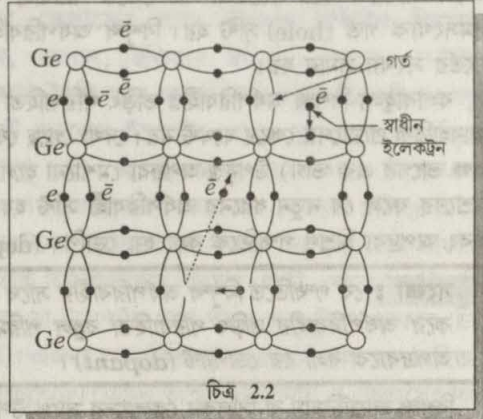
চিত্র 2.1

2.2.

অর্ধপরিবাহীতে তড়িৎবাহকের গতি (Motion of charge carriers in a semi-conductor) :

সিলিকন, জার্মেনিয়াম প্রভৃতি অন্তরক পদার্থের পরমাণুগুলিতে 0°C উষ্ণতায় পরিবাহী পটি সম্পূর্ণ খালি থাকে এবং সংযোজী পটি সম্পূর্ণভাবে ভ্যালেন্স ইলেকট্রন দ্বারা ভর্তি থাকে। জার্মেনিয়াম বা সিলিকন পরমাণুতে চারটি ভ্যালেন্স ইলেকট্রন আছে। প্রত্যেক পরমাণুর ভ্যালেন্স ইলেকট্রনগুলি পার্শ্ববর্তী পরমাণুর সাথে সমযোজী গ্রন্থি (covalent bond) স্থাপন করে জার্মেনিয়াম কেলাস (crystal) গঠন করে। বিশুদ্ধ

জার্মেনিয়াম পদার্থে কোনো স্বাধীন ইলেকট্রন না থাকায় নিম্ন-তাপমাত্রায় এর কোনো তড়িৎ পরিবাহী ধর্ম থাকে না। এই ধরনের বিশুদ্ধ জার্মেনিয়াম পদার্থে নিম্ন-তাপমাত্রায় কোনো তড়িৎ পরিবাহী ধর্ম থাকে না। এই ধরনের বিশুদ্ধ জার্মেনিয়াম কেলাসকে বলা হল বিশুদ্ধ কেলাস (intrinsic crystal)। কিন্তু তাপমাত্রা বৃদ্ধি করে জার্মেনিয়ামকে ঘরের তাপমাত্রায় আনলে, তাপীয় উত্তেজনার পরমাণুর কিছু গ্রন্থি (bond) ভেঙে পড়ে। ফলে কিছু ইলেকট্রন মুক্ত হয়ে কেলাসের ভিতর বিচরণ করে এবং প্রয়োজনীয় শক্তি সংগ্রহ করে সংযোজী পটি হতে পরিবাহী পটিতে চলে যায়। এভাবে গ্রন্থি চূর্ণ হয়ে যখন একটি ইলেকট্রন মুক্ত হয় এবং পরিবাহী পটিতে উন্নীত হয় তখন ঐ গ্রন্থিতে একটি ইলেকট্রনের ঘাটতি ঘটে। সংযোজক পটিতে এরূপ ইলেকট্রনের ঘাটতিতে একটি গহ্বর বা গর্তের (hole) উদ্ভব হয় [2.2 নং চিত্রের দক্ষিণ দিকের ওপর্যাংশ] যা একটি পজিটিভ তড়িৎের সমতুল্য।



তাপীয় উত্তেজনার ফলে, ঐ গর্তের ঠিক পরবর্তী একটি বন্ধ ইলেকট্রন ঐ গর্ত ভর্তি করার জন্য চলে আসতে পারে; আবার, সে যে ‘গর্ত’ সৃষ্টি করবে তা ভর্তি করার জন্য পার্শ্ববর্তী বন্ধ ইলেকট্রন চলে আসবে। অর্থাৎ এক বন্ধ অবস্থান হতে নেগেটিভ তড়িৎের অপর বন্ধ অবস্থানে স্থানান্তর হবে। আবার এই স্থানান্তরের ঘটনাকে বিপরীত দিকে ‘গর্তের’ স্থানান্তর বলেও মনে করা যেতে পারে। কিন্তু গর্তের স্থানান্তরের অর্থ হল পজিটিভ তড়িৎের স্থানান্তর। এটা 2.2 নং চিত্রের নিম্নাংশে দেখানো হয়েছে। এই স্থানে ইলেকট্রন বামদিকে সরে যাচ্ছে কিন্তু গর্ত দক্ষিণ দিকে সরে যাচ্ছে। এভাবে তাপীয় উত্তেজনা সমযোজী গ্রন্থি ভেঙে যখন একটি ইলেকট্রন সংযোজী পটি হতে পরিবাহী পটিতে উন্নীত হয়, তখন যুগপৎ একটি পরিবহন ইলেকট্রন ও একটি পজিটিভ গহ্বর বা গর্তের সৃষ্টি হয়। বাইরে থেকে কোনো তড়িৎক্ষেত্র প্রয়োগ করলে, পরিবহন ইলেকট্রন ও পজিটিভ গহ্বর বিপরীত দিকে গতিশীল হয় এবং উভয়েই পৃথকভাবে তড়িৎ পরিবহনে অংশ গ্রহণ করে। তাই এদের তড়িৎবাহক (charge carriers) বলা হয়।

অর্ধপরিবাহীর ক্ষেত্রে দেখা যাচ্ছে যে, তাপমাত্রা বৃদ্ধিতে ভ্যালেন্স ইলেকট্রনের তাপজ শক্তি বৃদ্ধি পায়। এর ফলে সমযোজী গ্রন্থি ছিন্ন করে বন্ধ ইলেকট্রন স্বাধীন ইলেকট্রনে পরিণত হয়। এতে বেশি পরিমাণে ‘ইলেকট্রন-গর্ত’ যুগ্মের সৃষ্টি হয়ে বেশি পরিমাণে তড়িৎ-বাহকের সৃষ্টি করে এবং অর্ধপরিবাহীর ভিতর দিয়ে তড়িৎ-পরিবহনের সুবিধা করে দেয়। অতএব, বলা যায় তাপমাত্রা বৃদ্ধিতে বিশুদ্ধ অর্ধপরিবাহীর রোধ হ্রাস পায়। এই সম্পর্কে বিশুদ্ধ ধাতব পরিবাহীর ব্যবহার সম্পূর্ণ বিপরীত; কারণ আমরা জানি তাপমাত্রা বৃদ্ধিতে বিশুদ্ধ ধাতব পরিবাহীর রোধ বৃদ্ধি পায়। এই ঘটনা দ্বারা সহজেই বিশুদ্ধ ধাতু এবং বিশুদ্ধ অর্ধপরিবাহীর ভিতর কোনটি কী তা শনাক্ত করা যায়। এ কথা মনে রাখা দরকার যে তাপমাত্রা যাই হোক না কেন, বিশুদ্ধ অর্ধপরিবাহীতে সর্বদা সমান সংখ্যক ইলেকট্রন ও ‘গর্ত’ থাকে।

2.3.

বিশুদ্ধ ও অবিশুদ্ধ অর্ধপরিবাহী (Intrinsic and extrinsic semiconductors) :

বিশুদ্ধ অবস্থায় প্রাপ্ত অর্ধপরিবাহীকে স্বকীয় বা বিশুদ্ধ (intrinsic) অর্ধপরিবাহী বলে। স্পষ্টত এই ধরনের অর্ধপরিবাহীতে কোনো অপদ্রব্য মিশানো থাকে না। বিশুদ্ধ অর্ধপরিবাহীতে পরিবাহী পটি (conduction band) এবং সংযোজী পটি প্রায় 1 eV শক্তিস্তর দ্বারা পৃথক অবস্থায় থাকে। যেমন বিশুদ্ধ সিলিকন

অর্ধপরিবাহীর বেলায় এই পার্থক্য 1.1 eV এবং জার্মেনিয়ামের বেলায় 0.74 eV । বিশুদ্ধ অর্ধপরিবাহীতে তড়িৎ-বাহক সৃষ্টি হয় তাপীয় কারণে। E_g -এর মান কম হওয়ায় সাধারণ উষ্ণতায় কিছু ইলেকট্রন নিষিদ্ধ অঞ্চল অতিক্রম করে সংযোজী পটি থেকে পরিবাহী পটিতে চলে যেতে পারে। ফলে সংযোজী পটিতে সমসংখ্যক গর্ত (hole) সৃষ্টি হয়। বিশুদ্ধ অর্ধপরিবাহীতে তাপীয় কারণে সৃষ্ট ইলেকট্রন সংখ্যা এবং গর্তের সংখ্যা সমান হয়।

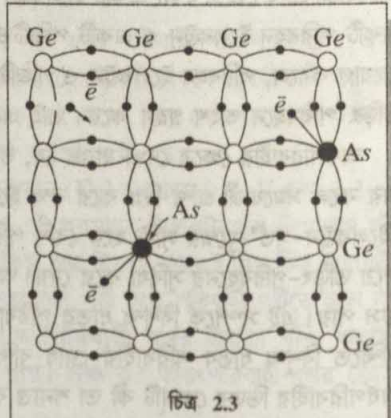
বলাবাহুল্য বিশুদ্ধ অর্ধপরিবাহীর তড়িৎ পরিবাহিতা খুব সামান্য। এটা যে তড়িৎপ্রবাহ উৎপন্ন করে তা ব্যবহারিক প্রয়োগের ক্ষেত্রে যথেষ্ট নয়। দেখা গেছে যে বিশুদ্ধ অর্ধপরিবাহীর সঙ্গে সামান্য পরিমাণ (দশ লক্ষ ভাগের এক ভাগ) উপযুক্ত অপদ্রব্য মেশানো হলে প্রচুর সংখ্যক তড়িৎ-বাহক পাওয়া যায়। অপদ্রব্য মিশ্রণের ফলে যে নতুন ধরনের অর্ধপরিবাহী সৃষ্টি হয়, তাকে অবিশুদ্ধ (extrinsic) অর্ধপরিবাহী বলে এবং অপদ্রব্য মিশ্রণ পদ্ধতিকে বলা হয় ডোপিং (doping)।

সংজ্ঞা : যে পদ্ধতিতে বিশুদ্ধ অর্ধপরিবাহীর সাথে ইচ্ছাকৃতভাবে সামান্য পরিমাণ অপদ্রব্য মিশ্রিত করে অর্ধপরিবাহীর তড়িৎ পরিবাহিতা বহুল পরিমাণে বৃদ্ধি করা হয়, তাকে ডোপিং বলে। ঐ অপদ্রব্যকে বলা হয় ডোপ্যান্ট (dopant)।

বিশুদ্ধ জার্মেনিয়াম বা সিলিকন কেলাসের সাথে উপযুক্ত পরিমাণ বিশেষ ধরনের অপদ্রব্য ডোপিং করে N-টাইপ অথবা P-টাইপ অবিশুদ্ধ অর্ধপরিবাহী তৈরি করা যায়। N-টাইপ কেলাসে শুধু ইলেকট্রন তড়িৎ পরিবহন করে, আবার P-টাইপ কেলাসে শুধু গহ্বর বা ‘গর্ত’ (hole)-গুলি তড়িৎ পরিবহন করে। এদের পরিবহন ক্ষমতা বিশুদ্ধ অর্ধপরিবাহী থেকে অনেক বেশি।

2.4. N-টাইপ এবং P-টাইপ কেলাস (N-type and P-type crystals):

N-টাইপ কেলাস : N-টাইপ কেলাস তৈরি করতে বিশুদ্ধ জার্মেনিয়াম বা সিলিকনের সাথে অল্প পরিমাণ পঞ্চযোজী (pentavalent) মৌল, যেমন আর্সেনিক মেশানো হয়। আর্সেনিক পরিমাণের পাঁচটি ভ্যালেন্স ইলেকট্রন আছে। আর্সেনিকের পরিমাণ এরূপভাবে নিয়ন্ত্রিত করা হয় যে তার পরমাণুগুলি জার্মেনিয়াম কেলাসের (Ge) মূল গঠনকে অব্যাহত রেখে তার কেলাস-জালির (crystal lattice) অন্তর্গত হয়ে পড়ে এবং তার চারটি ইলেকট্রন পার্শ্ববর্তী চারটি জার্মেনিয়াম পরমাণুর সাথে যোজ্যতা গ্রন্থিতে আবদ্ধ হয়ে পড়ে। এর ফলে প্রত্যেক আর্সেনিক পরমাণুর (As) অতিরিক্ত পঞ্চম ইলেকট্রন স্বাধীন হয়ে পড়ে এবং কেলাসের ভিতর বিচরণ করার ক্ষমতা লাভ করে পরিবাহী পটিতে উন্নীত হয়। এভাবে প্রত্যেকটি আর্সেনিক পরমাণু একটি করে স্বাধীন পরিবাহী ইলেকট্রন দান করে বলে [চিত্র 2.3] আর্সেনিক-কে এক্ষেত্রে দাতা (donor) বলা হয়। হিসাব করে দেখা যায় এভাবে গঠিত কেলাসে প্রতি ঘন সেন্টিমিটারে 10^{17} স্বাধীন ইলেকট্রন উপস্থিত থাকে। অপদ্রব্যের পরিমাণ নিয়ন্ত্রিত করে পরিবাহী ইলেকট্রনের সংখ্যা এবং

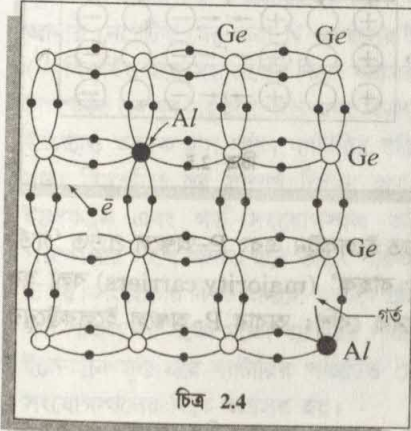


চিত্র 2.3

সেই সঙ্গে কেলাসের তড়িৎ-পরিবাহিতা নিয়ন্ত্রণ করা সম্ভব। এখন তাপীয় উত্তেজনায় ঐ কেলাসের কিছু কিছু বদ্ধ (bound) ইলেকট্রন গ্রন্থিমুক্ত হয়ে পড়লে সমসংখ্যক ‘গর্ত’ তৈরি হবে এবং স্বাধীন ইলেকট্রনগুলি ঐ ‘গর্ত’ পূরণের জন্য ছুটে যাবে। এক্ষেত্রে ‘গর্তের’ সংখ্যার তুলনায় স্বাধীন ইলেকট্রনের সংখ্যা অনেক বেশি বলে তড়িৎ পরিবহনের নেগেটিভ ইলেকট্রনের (অথবা তড়িৎপ্রবাহের) ভূমিকাই বেশি। অতএব, N-টাইপ কেলাসে নেগেটিভ তড়িৎবাহী ইলেকট্রন সংখ্যাগুরু তড়িৎবাহক (majority charge carrier)। এই কারণে ঐ কেলাসকে N-টাইপ কেলাস বলে। মনে রাখা দরকার যে N-টাইপ কেলাস তৈরি

করতে হলে জার্মেনিয়াম বা সিলিকনের সাথে উপযুক্ত পরিমাণ কোনো পঞ্চযোজী (pentavalent) মৌলপদার্থ যেমন আর্সেনিক, অ্যান্টিমনি, ফসফরাস ইত্যাদি মেশাতে হবে।

P-টাইপ কেলাস : বিশুদ্ধ জার্মেনিয়াম কেলাসের সাথে উপযুক্ত পরিমাণ ত্রিযোজী (trivalent) পরমাণু, যেমন অ্যালুমিনিয়াম, বোরন, ইন্ডিয়াম ইত্যাদি মেশালে P-টাইপ



কেলাস তৈরি হয়। অ্যালুমিনিয়াম প্রভৃতি ত্রিযোজী পরমাণুর তিনটি ভ্যালেন্স ইলেকট্রন আছে। সুতরাং অ্যালুমিনিয়াম পরমাণু (Al) জার্মেনিয়াম কেলাসের সাথে মিশে এমন কেলাস-জাফরি গঠন করবে যার যোজ্যতা গ্রন্থিতে একটি ইলেকট্রনের ঘাটতি, অথবা ‘গর্তের’ উদ্ভব হবে। ঐ জাফরির প্রত্যেক অ্যালুমিনিয়াম পরমাণু একটি করে ‘গর্ত’ সৃষ্টি করবে যা ইলেকট্রন গ্রহণ করার জন্য উন্মুখ থাকবে [চিত্র 2.4]। এজন্য অ্যালুমিনিয়ামকে এস্থলে বলা হয় ‘গ্রহিতা’ (acceptor)। এখন তাপীয় উত্তেজনায় ঐ কেলাসের কিছু কিছু বন্ধ ইলেকট্রন গ্রন্থিমুক্ত হয়ে পড়লে, সমসংখ্যক ‘গর্ত’ সৃষ্টি হবে। যেহেতু এক্ষেত্রে ‘গর্তের’ সংখ্যা গ্রন্থিমুক্ত ইলেকট্রনের সংখ্যার তুলনায় অনেক বেশি, সেইহেতু

তড়িৎ পরিবহনে ‘গর্ত’ অথবা পজিটিভ তড়িতাধানের ভূমিকাই বেশি। অতএব, P-টাইপ কেলাসে পজিটিভ তড়িৎবাহী ‘গর্ত’ সংখ্যাগুরু তড়িৎ-বাহক। এই কারণে এই কেলাসকে P-টাইপ কেলাস বলে। এখানেও অপদ্রব্যের পরিমাণ নিয়ন্ত্রিত করে কেলাসের তড়িৎ-পরিবাহিতা নিয়ন্ত্রণ করা সম্ভব।

একথা মনে রাখা প্রয়োজন যে N অথবা P-টাইপ কেলাসের কোনোটাই তড়িতাহিত নয়। N-টাইপ কেলাসের অতিরিক্ত ইলেকট্রনের নেগেটিভ তড়িৎ আর্সেনিক পরমাণুর নিউক্লিয়াসের পজিটিভ তড়িৎ দ্বারা প্রশমিত হয়, আবার P-টাইপ কেলাসের অতিরিক্ত ‘গর্তের’ পজিটিভ তড়িৎ অ্যালুমিনিয়াম পরমাণুর নিউক্লিয়াসের পজিটিভ তড়িৎের ঘাটতি পূরণ করে নিষ্ক্রিয় হয়।

2.5.

বিশুদ্ধ ও অবিশুদ্ধ অর্ধপরিবাহীর তুলনা (Comparison between intrinsic and extrinsic semiconductors) :

1. বিশুদ্ধ অর্ধপরিবাহী পর্যায় সারণীর IV নং শ্রেণির অন্তর্গত মৌল পদার্থ (যেমন জার্মেনিয়াম; সিলিকন ইত্যাদি); অবিশুদ্ধ অর্ধপরিবাহীতে ডোপিং দ্বারা III এবং V নং শ্রেণি হতে কোনো মৌলকে মিশ্রিত করা হয় (যেমন, বোরন, ইন্ডিয়াম, অ্যান্টিমনি ইত্যাদি)।
2. বিশুদ্ধ অর্ধপরিবাহীর তড়িৎ-পরিবাহিতা খুব সামান্য। ডোপিং করার ফলে অবিশুদ্ধ অর্ধপরিবাহীর তড়িৎ-পরিবাহিতা অনেক বেশি।
3. তাপমাত্রা বৃদ্ধিতে বিশুদ্ধ অর্ধপরিবাহীর তড়িৎ-পরিবাহিতা বৃদ্ধি পায়। অবিশুদ্ধ অর্ধপরিবাহীর পরিবাহিতা ডোপ্যান্টের পরিমাণের ওপর নির্ভর করে।
4. বিশুদ্ধ অর্ধপরিবাহীতে ইলেকট্রন সংখ্যা গর্তের সংখ্যার সমান। কিন্তু N-টাইপ অবিশুদ্ধ অর্ধপরিবাহীতে গর্তের সংখ্যার তুলনায় ইলেকট্রনের সংখ্যা অনেক বেশি; আবার P-টাইপ অবিশুদ্ধ অর্ধপরিবাহীতে ইলেকট্রন সংখ্যার তুলনায় গর্তের সংখ্যা অনেক বেশি।

2.6.

P-N সংযোগ বা অর্ধপরিবাহী ডায়োড (P-N junction or semiconductor diode) :

আমরা পূর্বে দেখেছি যে, N-টাইপ কেলাসে সংখ্যাগুরু বাহক ‘ইলেকট্রন’ তড়িৎপ্রবাহকে নিয়ন্ত্রণ করে এবং P-টাইপ কেলাসে করে সংখ্যাগুরু বাহক গর্ত বা ‘গর্ত’। একটি একক অর্ধপরিবাহী কেলাসের

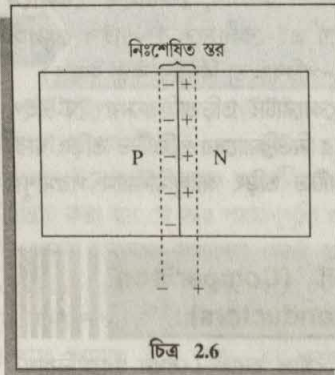
প্রান্তদ্বয়ে বিভবপ্রভেদ প্রয়োগ করলে N-টাইপ অথবা P-টাইপ উভয়েই একটি সাধারণ রোধকের মতো ব্যবহার করে—অর্থাৎ প্রবাহমাত্রা বিভবপ্রভেদের সমানুপাতিক হয় এবং বিভবপ্রভেদের অভিমুখ অনুযায়ী প্রবাহ চলতে থাকে। বিভবপ্রভেদের অভিমুখ উল্টে দিলে, প্রবাহের অভিমুখও উল্টে যায় কিন্তু প্রবাহমাত্রা অপরিবর্তিত থাকে। কিন্তু P-N সংযোগের ক্ষেত্রে এরকম ঘটনা ঘটে না।

যখন একটি P-টাইপ এবং একটি N-টাইপ অর্ধপরিবাহীকে পরস্পরের সংস্পর্শে আনা যায় যাতে সংযোগস্থলে কেলাসের গঠনাকৃতি অব্যাহত থাকে তখন তারা P-N সংযোগ বা অর্ধপরিবাহী ডায়োড গঠন করে।

এই সংযোগের ফলে, তড়িৎ পরিবহনের জন্য N-অঞ্চলে প্রভূত ইলেকট্রন এবং P-অঞ্চলে প্রভূত ‘গর্ত’ পাওয়া যায় [চিত্র 2.5]। এদের সাধারণতভাবে ‘সংখ্যাগুরু বাহক’ (majority carriers) বলা হয় কারণ N-অঞ্চলে ‘গর্তের’ তুলনায় ইলেকট্রনের সংখ্যা অনেক বেশি; আবার P-অঞ্চলে ইলেকট্রনের তুলনায় ‘গর্তের’ সংখ্যা অনেক বেশি।

নিঃশেষিত স্তর গঠন :

এই ধরনের জ্ঞান বা সংযোগ গঠন করলে এবং এই সংযোগে কোনো বিভবপ্রভেদ প্রয়োগ না করলে, N-অঞ্চলের অপদ্রব্য পরমাণুর (দাতা পরমাণু) অতিরিক্ত ইলেকট্রন পরমাণু হতে বিচ্ছিন্ন হয়ে P-অঞ্চলের দিকে চলে যায় এবং দাতা পরমাণুগুলি ইলেকট্রন পরিত্যাগ করে পজিটিভ আয়নে পরিণত হয়। যেহেতু কেলাস জাফরিতে এই পরমাণুগুলি নিজস্ব অবস্থানে দৃঢ়ভাবে স্থাপিত, তাই সংযোগের কাছাকাছি N-অঞ্চলে এই পজিটিভ আয়নগুলি নিজস্ব অবস্থানে স্থির থাকে [চিত্র 2.6]। এভাবে সংযোগের কাছাকাছি N-অঞ্চল কিছু ইলেকট্রন হারায় এবং এ অঞ্চল পজিটিভ তড়িৎগ্রস্ত হয়। একইভাবে, P-অঞ্চলের অপদ্রব্য পরমাণুর (গ্রহীতা পরমাণু) গর্তগুলি সংযোগের দিকে অগ্রসর হয়ে নেগেটিভ আয়নের উৎপত্তি করে। ফলে, সংযোগের কাছাকাছি P-অঞ্চল আর তড়িৎ-নিরপেক্ষ (electrical neutrality) থাকে না; সেখানে নেগেটিভ তড়িৎের উৎপত্তি হয়।

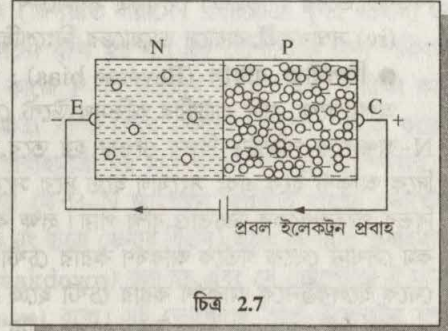


অতএব, জ্ঞানানের নিকটবর্তী P-অঞ্চলে স্থৈতিক (static) নেগেটিভ আধানের সমাবেশ এবং অপর দিকের N-অঞ্চলে, সামান্য ফাঁক রেখে স্থৈতিক পজিটিভ আধানের অনুরূপ সমাবেশ ঘটে। জ্ঞানানের দুই দিকে এরূপ বিপরীত স্থৈতিক আধানের সমাবেশ একটি তড়িৎক্ষেত্রের সৃষ্টি করে যাকে বলা হয় বিভব প্রতিবন্ধক (potential barrier)। জ্ঞানানের দুই পাশের বিভবপার্থক্যকে বলা হয় বিভব প্রতিবন্ধক উচ্চতা (height of potential barrier)। সিলিকন P-N জ্ঞানানের বেলায় এই উচ্চতা প্রায় 0.7 volt এবং জার্মেনিয়ামের বেলায় প্রায় 0.3 volt। শীঘ্রই বিভব প্রতিবন্ধকের মান এরূপ হয় যে আর কোনো ইলেকট্রন N-অঞ্চল থেকে P-অঞ্চলের দিকে অথবা কোনো ‘গর্ত’ P-অঞ্চল থেকে N-অঞ্চলের দিকে আসে না। এই বিভব প্রতিবন্ধক-কে 2.6 নং চিত্রে একটি কাল্পনিক তড়িৎ কোশের অন্তর্ভুক্ত (কাটা কাটা রেখা দ্বারা) দ্বারা বুঝানো হয়েছে। লক্ষ্য কর যে, এই কাল্পনিক কোশের নেগেটিভ মেরু P-অঞ্চলের সাথে এবং পজিটিভ মেরু N-অঞ্চলের সাথে যুক্ত দেখানো হয়েছে। সংযোগের দুই পাশে যে সন্নিহিত স্তর ($\approx 10^{-4}$ cm থেকে 10^{-6} cm) পজিটিভ ও নেগেটিভ আধানকে পৃথক করে রাখে সেখানে গতিশীল আধান নিঃশেষ হয়ে যায় এবং কোনো গতিশীল আধান বাহকের অন্তর্ভুক্ত থাকে না; তাই এই স্তর-কে বলা হয় নিঃশেষিত স্তর (depletion layer)।

● P-N সংযোগের তড়িৎপ্রবাহ : সম্মুখবর্তী বায়াস :

একটি ব্যাটারির সাহায্যে P-N সংযোগের P-অঞ্চলকে পজিটিভ এবং N-অঞ্চলকে নেগেটিভ বিভব দিলে (চিত্র 2.7) বর্তনী দিয়ে তড়িৎপ্রবাহ হবে। এর কারণ নিম্নরূপ :

ব্যাটারির পজিটিভ মেরু দ্বারা P-অঞ্চলের ‘গর্ত’ গুলি (o) বিকর্ষিত হয়ে সংযোগের দিকে অগ্রসর হবে, আবার নেগেটিভ মেরু দ্বারা N-অঞ্চলের ইলেকট্রনগুলি (—) বিকর্ষিত হয়ে সংযোগের দিকে অগ্রসর হবে। এতে নিঃশেষিত স্তর খুব সরু হয়ে পড়ে এবং বিভব প্রতিবন্ধকের উচ্চতাও অনেক হ্রাস পায়। ব্যাটারির তড়িৎচালক বল দ্বারা নিঃশেষিত স্তর সম্পূর্ণ বিলীন হয়ে গেলে কিছু ইলেকট্রন এবং গর্ত সংযোগস্থল অতিক্রম করে পরস্পরের সাথে মিলিত হয়ে তড়িৎ পরিবহনের ক্ষমতা হারায়। সংযোগের নিকট অঞ্চলে এভাবে প্রতি ইলেকট্রন-



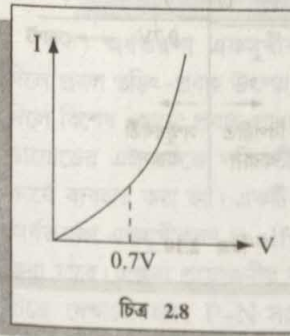
চিত্র 2.7

গর্ত সম্মিলনের সঙ্গে সঙ্গে ব্যাটারির পজিটিভ মেরুর নিকট একটি সমযোজী গ্রন্থি ভেঙে পড়ে এবং একটি ইলেকট্রন মুক্ত হয়ে ব্যাটারির পজিটিভ মেরুতে প্রবেশ করে। এতে যে ‘গর্তের’ সৃষ্টি হয়, তা আবার সংযোগস্থলের দিকে অগ্রসর হয়।

এদিকে N-অঞ্চলের নেগেটিভ মেরুর নিকট ঐ মেরু থেকে আর কিছু ইলেকট্রন ঐ অঞ্চলে প্রবেশ করে গর্তের সাথে সম্মিলনে যে ইলেকট্রনের ঘাটতি হচ্ছিল সেই ঘাটতি পূরণ করে। এই ইলেকট্রনগুলি ব্যাটারির তড়িৎচালক বল কর্তৃক চালিত হয়ে সংযোগস্থলের দিকে অগ্রসর হয়। যতক্ষণ পর্যন্ত ব্যাটারির বিভবপ্রভেদ কাজ করে ততক্ষণ সংযোগ অতিক্রম করে ইলেকট্রন ও গর্তের চলাচল হয় এবং বর্তনীতে P থেকে N-অঞ্চলের দিকে তড়িৎপ্রবাহ চালু থাকে। এই অবস্থায় বলা হয় P-N সংযোগ ‘সম্মুখবর্তী বায়াস’ (forward bias) যুক্ত। তখন সংযোগ তড়িৎ প্রবাহের বিরুদ্ধে খুব কম রোধের সৃষ্টি করে। লক্ষ্য করার বিষয় যে এই অবস্থায় যে অঞ্চলে ‘গর্তের’ আধিক্য (দক্ষিণ দিকে) সেখান থেকে গর্তকে সরিয়ে আনা হচ্ছে এবং যে অঞ্চলে ইলেকট্রনের আধিক্য (বাম দিকে) সেখান থেকে ইলেকট্রনকে সরিয়ে আনা হচ্ছে। ফলে, প্রবল তড়িৎপ্রবাহ পাওয়া যায়।

ডায়োডের V-I বৈশিষ্ট্য লেখ :

P-N সংযোগে সম্মুখবর্তী বায়াস প্রয়োগ করে ডায়োডের দুই প্রান্তে প্রযুক্ত বিভিন্ন বিভব পার্থক্যের সঙ্গে আনুষঙ্গিক বর্তনী প্রবাহমাত্রার লেখ আঁকলে, ঐ লেখকে সম্মুখবর্তী বায়াসের জন্য V-I বৈশিষ্ট্য লেখ বলা হয় (2.8 নং চিত্র)। লেখ হতে দেখা যায় যে বিভবপার্থক্য খুব কম হলে বর্তনীর প্রবাহও খুব কম হয়। এর কারণ এই যে বাইরের ভোল্টেজ ডায়োডের বিভব প্রতিবন্ধক ছাড়িয়ে না যাওয়া পর্যন্ত ডায়োড পরিবাহী হয় না। বিভবপ্রভেদ 0.7 ভোল্ট-এর কাছাকাছি হলে ক্রমশ বেশি সংখ্যক মুক্ত ইলেকট্রন ও গর্ত জাংশান অতিক্রম করতে শুরু করে এবং ডায়োডও ক্রমশ পরিবাহী হয়ে ওঠে। 0.7 V বিভবপ্রভেদের পর, বিভবপার্থক্য সামান্য বৃদ্ধি করলেই প্রবাহমাত্রা বিশেষভাবে বৃদ্ধি পায়। যে বিভবপ্রভেদে প্রবাহমাত্রা দ্রুত বৃদ্ধি পেতে শুরু করে তাকে cut-in অথবা knee - voltage বলা হয়।



চিত্র 2.8

সিলিকন ডায়োডের ক্ষেত্রে cut-in voltage প্রায় 0.7 V এবং জার্মেনিয়ামের ক্ষেত্রে 0.3V।

● সম্মুখবর্তী বায়াসের বৈশিষ্ট্য :

সম্মুখবর্তী বায়াসের নিম্নলিখিত বৈশিষ্ট্য লক্ষ্য করা যায় :

(i) জাংশান ডায়োডের অভ্যন্তরে উভয়প্রকার সংখ্যাগুরু বাহকের দ্বারা তড়িৎপ্রবাহ উৎপন্ন হয় কিন্তু

বহির্বর্তনীতে প্রবাহ উৎপন্ন হয় কেবলমাত্র ইলেকট্রনের দ্বারা।

(ii) সম্মুখবর্তী বায়াসে যে তড়িৎপ্রবাহ পাওয়া যায় তা কয়েক মিলি-অ্যাম্পিয়ার মাত্র।

(iii) বাইরে থেকে প্রযুক্ত বিভব প্রভেদ বৃদ্ধি করলে, প্রবাহমাত্রা বৃদ্ধি পায়। প্রবাহমাত্রা এবং বিভবপ্রভেদের (ভোল্টে) লেখচিত্র সরলরেখা নয় [চিত্র 2.8]।

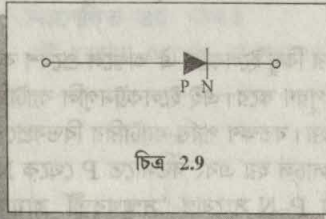
(iv) সম্মুখবর্তী বায়াসে ডায়োডের নিঃশেষিত স্তরের বেধ ক্রমশ হ্রাস পায়।

● বিপরীত বায়াস (Reverse bias) :

অপরপক্ষে, যদি ব্যাটারির অভিমুখ উল্টে দেওয়া হয় — অর্থাৎ P-অঞ্চলকে নেগেটিভ বিভব এবং N-অঞ্চলকে পজিটিভ বিভব দেওয়া হয় তবে, ইলেকট্রন এবং ‘গর্ত’ উভয়েই পারস্পরিক তড়িৎদ্বারের দিকে আকৃষ্ট হবে এবং সংযোগ হতে দূরে সরে যাবে। এতে নিঃশেষিত স্তরের বেধ বৃদ্ধি পায় এবং বিভব প্রতিবন্ধকের উচ্চতাও বৃদ্ধি পায়। লক্ষ করার বিষয় যে এই ব্যবস্থায় যে অঞ্চলে ‘গর্তের’ সংখ্যা কম সেখান থেকে গর্তকে আকর্ষণ করার চেষ্টা হচ্ছে আবার যে অঞ্চলে ইলেকট্রনের সংখ্যা কম সেখান থেকে ইলেকট্রনকে আকর্ষণ করার চেষ্টা হচ্ছে। ফলে, বর্তনীতে তড়িৎপ্রবাহ খুব কম হবে অথবা P-N সংযোগ তড়িৎপ্রবাহের পথে উচ্চ রোধের সৃষ্টি করবে। এই অবস্থায় বলা হয় সংযোগ ‘বিপরীত বায়াস’ (backward bias) যুক্ত। (চিত্র 2.10 বাদিকের অংশ)।

দেখা গেল যে, অর্ধপরিবাহী P-N সংযোগ একটি বিশেষ দিকে প্রবল তড়িৎপ্রবাহ উৎপন্ন করে কিন্তু বিপরীত দিকে বিশেষ করে না। এই কারণে P-N সংযোগকে অর্ধপরিবাহী ডায়োড বা সংযোগ ডায়োড বলা হয়। P-N সংযোগের কার্যপ্রণালীর সঙ্গে ডায়োড ভালভের একমুখীকরণ (diode rectification) কার্যের সাদৃশ্য আছে; তাই আজকাল একমুখীকরণের জন্য P-N সংযোগের বহুল ব্যবহার হচ্ছে।

P-N সংযোগকে যে প্রতীক চিত্রের সাহায্যে প্রকাশ হয় তা 2.9 নং চিত্রে দেখানো হল।



● বিপরীত বায়াসের বৈশিষ্ট্য :

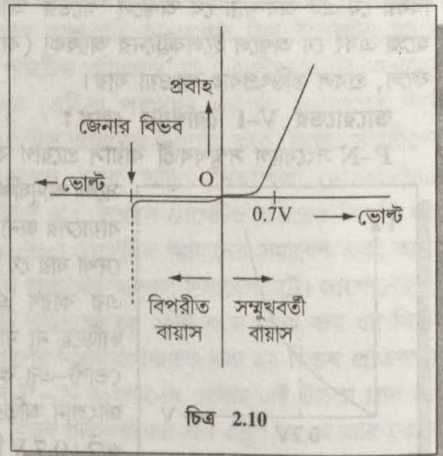
বিপরীত বায়াসের নিম্নলিখিত বৈশিষ্ট্য আছে :

(i) জাংশান ডায়োডের অভ্যন্তরে উভয় প্রকার সংখ্যাগুরু বাহকের দ্বারা তড়িৎপ্রবাহ উৎপন্ন হয় কিন্তু বহির্বর্তনীতে প্রবাহ উৎপন্ন হয় কেবলমাত্র ইলেকট্রনের দ্বারা।

(ii) বিপরীত বায়াসে যে তড়িৎপ্রবাহ পাওয়া যায় তা অতি সামান্য — কয়েক মাইক্রো অ্যাম্পিয়ার মাত্র।

(iii) বাইরে থেকে প্রযুক্ত বিভবপ্রভেদ বৃদ্ধি করলে, প্রবাহমাত্রার বিশেষ পরিবর্তন হয় না। বিভবপ্রভেদ-প্রবাহমাত্রা লেখচিত্র 2.10 নং ছবিতে দেখানো হল।

(iv) বিপরীত বায়াসে ডায়োডের নিঃশেষিত স্তরের বেধ ক্রমশ বৃদ্ধি পায়।



2.7.

অর্ধপরিবাহী ডায়োডের বৈশিষ্ট্য লেখ (Characteristic curve of a semi-conductor diode) :

পূর্ব অনুচ্ছেদে আমরা দেখলাম যে P-N সংযোগে ‘সম্মুখবর্তী বায়াস’ প্রয়োগ করলে বর্তনীতে প্রবল তড়িৎপ্রবাহ পাওয়া যায়। যদি আমরা P-N সংযোগে বিভিন্ন বিভবপ্রভেদ প্রয়োগ করি এবং প্রত্যেকবার

তড়িৎপ্রবাহমাত্রা পরিমাপ করি তবে আমরা 2.10 নং চিত্রের মতো একটি লেখ পাব। একে ‘অর্ধপরিবাহী ডায়োডের বৈশিষ্ট্য লেখ’ বলা হয়।

এই লেখ হতে স্পষ্ট বোঝা যায় যে একটি বিশেষদিকে (সম্মুখবর্তী বায়াসে) সামান্য ভোল্টেজ বৃদ্ধিতেই প্রবাহমাত্রা দ্রুত বৃদ্ধি পায় কিন্তু বিপরীত দিকে (বিপরীত বায়াসে) প্রবাহমাত্রা খুবই সামান্য হয় এবং ভোল্টেজ বৃদ্ধি করলেও প্রবাহমাত্রার বিশেষ কোনো বৃদ্ধি হয় না। এই বৈশিষ্ট্যের জন্য পরিবর্তী প্রবাহকে (alternating current) একমুখীকরণের কাজে P-N সংযোগ ব্যবহৃত হয়। পরীক্ষা করে দেখা গেছে যে সম্মুখবর্তী বায়াসের বেলায়, প্রবাহমাত্রা বৃদ্ধি পেয়ে কোনো কোনো ক্ষেত্রে কয়েক অ্যাম্পিয়ার পর্যন্ত হয় কিন্তু বিপরীত বায়াসের বেলায় প্রবাহমাত্রা হয় মাত্র কয়েক মাইক্রোঅ্যাম্পিয়ার।

● **জেনার ডায়োড (Zener diode)**: দেখা যায় যে P-N জংশানে বিপরীত বায়াস ভোল্টেজ ধীরে ধীরে বৃদ্ধি করলে, একটি বিশেষ ভোল্টেজে (2.10 নং চিত্রে জেনার বিভব) হঠাৎ বিপরীত প্রবাহমাত্রা বিশেষ বৃদ্ধি পায়। এই ঘটনাকে ডায়োডের বৈকল্য (breakdown) বলা হয় এবং যে ভোল্টেজে ঐ ঘটনা ঘটে তাকে বৈকল্য ভোল্টেজ (breakdown voltage) বলে। এই ভোল্টেজে ‘গর্ত-ইলেকট্রন যুগ্ম’ তৈরি বিশেষভাবে বৃদ্ধি পায় যার ফলে, তড়িৎপ্রবাহও হঠাৎ খুব বৃদ্ধি পায়।

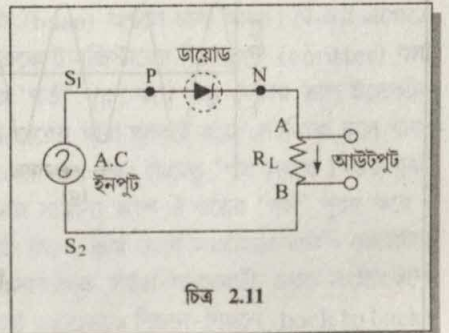
বৈকল্য দুটি পদ্ধতিতে সংঘটিত হতে পারে। বিপরীত বায়াস ভোল্টেজ পেয়ে ডায়োডের N-অঞ্চলের গর্তগুলি এবং P-অঞ্চলের পরিবাহী ইলেকট্রনগুলি খুব ত্বরান্বিত হয়। তড়িৎক্ষেত্রের দ্বারা ত্বরান্বিত হয়ে যখন উপরোক্ত সংখ্যালঘু বাহকগুলি যথেষ্ট গতিশক্তির অধিকারী হয় তখন তারা ভ্যালেন্স ইলেকট্রনের সাথে সংঘাত সৃষ্টি করে ভ্যালেন্স বন্ধন (bond) ছিন্ন করে এবং ভ্যালেন্স ইলেকট্রন তখন পরিবাহী পটীতে উন্নীত হয়। এইভাবে একটি ‘গর্ত-ইলেকট্রন’ জোড় সৃষ্টি হয়। এই ধরনের বৈকল্যকে বলা হয় সম্প্রপাত বৈকল্য (avalanche breakdown)। বৈকল্য আর এক পদ্ধতিতেও হতে পারে। উচ্চ বিপরীত বায়াস ভোল্টেজের জন্য ভ্যালেন্স বন্ধন সরাসরি ছিন্ন হয়ে বৈকল্য ঘটাতে পারে। এই ধরনের বৈকল্যকে বলা হয় জেনার বৈকল্য (Zener breakdown)।

বৈকল্য অঞ্চলে কার্য করার জন্য যে ডায়োড ব্যবহার করা হয়, বৈকল্য ঘটান পদ্ধতি অনুযায়ী তাকে সম্প্রপাত ডায়োড (avalanche diode) অথবা জেনার ডায়োড (Zener diode) বলা হয়। 2.10 নং চিত্রে জেনার ডায়োডের I-V বৈশিষ্ট্য লেখচিত্র দেখানো হয়েছে।

2.8.

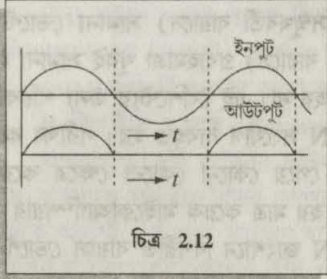
অর্ধপরিবাহী ডায়োড দ্বারা একমুখীকরণ (Rectification by semiconductor diode):

(ক) **অর্ধতরঙ্গ একমুখীকরণ** : আমরা ইতিপূর্বে দেখেছি যে, P-N সংযোগে সম্মুখবর্তী বায়াস দিলে প্রবল তড়িৎ-প্রবাহ উৎপন্ন হয় কিন্তু বিপরীত বায়াস দিলে বিশেষ কোনো প্রবাহ পাওয়া যায় না। অর্ধপরিবাহী ডায়োডের এই ধর্মকে পরিবর্তী প্রবাহের একমুখীকরণ কার্যে ব্যবহার করা হয়। একটি ডায়োড ব্যবহার করলে অর্ধতরঙ্গ একমুখীকরণ (halfwave rectification) করা যাবে। এজন্য প্রয়োজনীয় বর্তনী-ব্যবস্থা 2.11 নং চিত্রে দেখানো হল। P-N সংযোগের সাথে পরিবর্তী প্রবাহ-উৎস ইনপুট (A.C.) হিসাবে যুক্ত করা আছে। ধরো, পরিবর্তী উৎসের প্রথম অর্ধচক্রে S_1 বিন্দু পজিটিভ এবং S_2 বিন্দু নেগেটিভ বিভব পেল। এই অবস্থায় P-N সংযোগ সম্মুখবর্তী বায়াস পাবে এবং বর্তনীতে প্রবল তড়িৎপ্রবাহ পাঠাবে। এই প্রবাহ লোড R_L -এর ভিতর দিয়ে A থেকে B অভিমুখে যাবে। পরবর্তী অর্ধচক্রে S_1 বিন্দু নেগেটিভ এবং S_2 বিন্দু পজিটিভ বিভব



চিত্র 2.11

পাবে। তখন P-N সংযোগ বিপরীত বায়াস পেয়ে বর্তনীতে কোনো তড়িৎপ্রবাহ পাঠাবে না। সুতরাং উৎসের যে অর্ধে S_1 বিন্দু পজিটিভ হয় কেবলমাত্র সেই অর্ধেই লোড R_L -এর প্রান্তে বিভবপ্রভেদ উৎপন্ন হয় এবং তড়িৎপ্রবাহ সর্বদা A হতে B অভিমুখে প্রবাহিত হয়। প্রযুক্ত এ. সি. ভোল্টেজকে (ইনপুট) 2.12 নং চিত্র দ্বারা প্রকাশ করলে R_L -এর প্রান্তে উৎপন্ন ভোল্টেজ (আউটপুট) ঐ চিত্রের নিম্নাংশের মতো হবে। চিত্র থেকে বোঝা যায় যে এ. সি. সরবরাহের ওপরারের দরুন R_L লোডের মধ্য দিয়ে প্রবাহ যায় কিন্তু নিম্নারের দরুন কোনো প্রবাহ যায় না। এইভাবে P-N সংযোগের সাহায্যে পরিবর্তী প্রবাহের একমুখীকরণ সম্ভব। ইনপুটের মাত্র এক অর্ধের জন্য আউটপুট

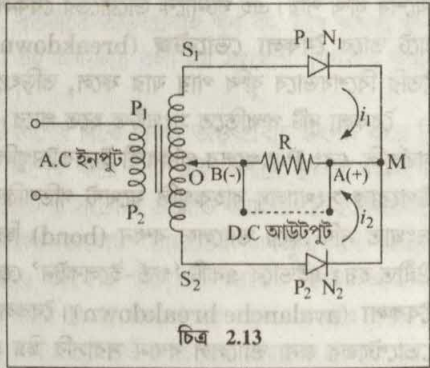


চিত্র 2.12

প্রবাহ পাওয়া যায় বলে একে অর্ধতরঙ্গ একমুখীকরণ বলা হয়।

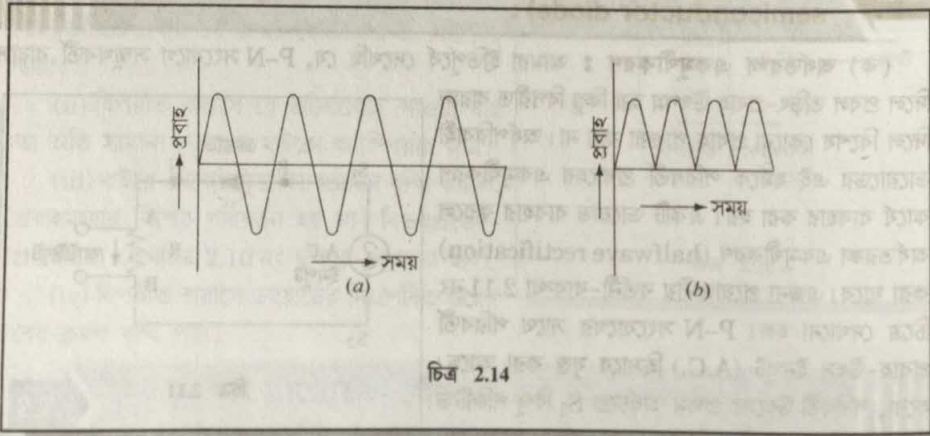
(খ) পূর্ণতরঙ্গ একমুখীকরণ :

দুটি P-N সংযোগ ব্যবহার করলে পূর্ণতরঙ্গ একমুখীকরণ সম্ভব। এজন্য প্রয়োজনীয় বর্তনী-ব্যবস্থা 2.13 নং চিত্রে দেখানো হয়েছে। ডায়োডদ্বয়ের P-অঙ্গল (P_1 এবং P_2) রূপান্তরক T-এর গৌণ কুণ্ডলীর দুই প্রান্ত S_1 এবং S_2 এর সঙ্গে যুক্ত। গৌণ কুণ্ডলীর মধ্যবিন্দু O ডায়োডদ্বয়ের N-অঙ্গল N_1 এবং N_2 -এর সংযোগস্থল M-এর সাথে লোড রোধ R-এর মাধ্যমে যুক্ত। রূপান্তরকের মুখ্য কুণ্ডলীর দুই প্রান্তের ভিতর এ. সি. ইনপুট প্রয়োগ করা হয়।



চিত্র 2.13

এ. সি. ইনপুটের যে অর্ধচক্রে O বিন্দুর সাপেক্ষে S_1 পজিটিভ এবং S_2 নেগেটিভ তখন উপরের ডায়োড সম্মুখবর্তী বায়াস পায় কিন্তু নীচের ডায়োড পায় পশ্চাৎবর্তী বায়াস। ফলে, কেবলমাত্র উপরের ডায়োডের ভিতর দিয়ে তিরচিহ্নের দিকে তড়িৎ-প্রবাহ ঘটে; নিচের ডায়োড কোনো প্রবাহ দেয় না।



চিত্র 2.14

এ. সি. ইনপুটের অপর অর্ধচক্রে O বিন্দুর সাপেক্ষে S_1 হয় নেগেটিভ এবং S_2 হয় পজিটিভ। তখন নীচের ডায়োডের ভিতর দিয়ে তির চিহ্নের দিকে তড়িৎপ্রবাহ পাওয়া যায়; ওপরের ডায়োড কোনো প্রবাহ দেয়

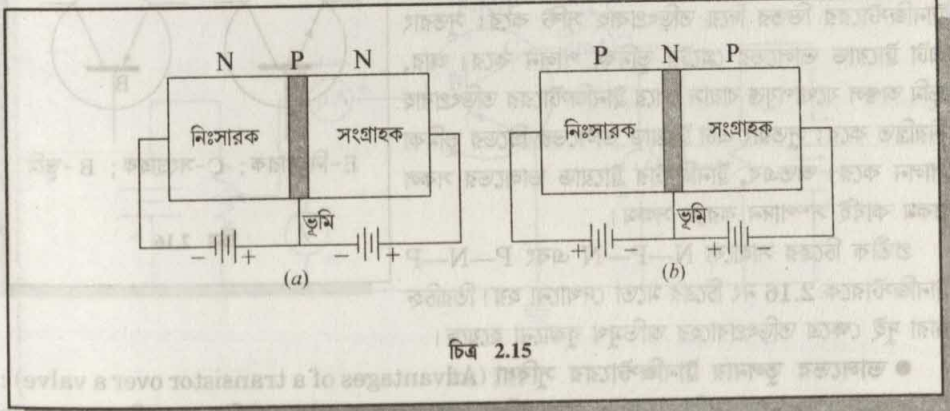
না। লক্ষ করার বিষয় যে, পূর্ণ চক্রের উভয়অর্ধেই লোড-রোধের ভিতর দিয়ে তড়িৎপ্রবাহ একমুখী। রূপান্তরকের মুখ্য কুণ্ডলীতে প্রযুক্ত ইনপুট ভোল্টেজ 2.14 (a) নং চিত্র দ্বারা প্রকাশ করলে, লোড-রোধের প্রবাহমাত্রা (একমুখী) 2.14 (b) নং চিত্র দ্বারা প্রকাশিত হবে। এক্ষেত্রে যেহেতু, ইনপুট তরঙ্গের উভয়অর্ধই একমুখী হল, সেহেতু এই ব্যবস্থাকে পূর্ণতরঙ্গ একমুখীকরণ বলা হয়।

পূর্ণতরঙ্গ একমুখীকরণ ব্যবস্থার দক্ষতা প্রায় 80% ; এটা অর্ধতরঙ্গ একমুখীকরণ ব্যবস্থার প্রায় দ্বিগুণ।

2.9.

অর্ধপরিবাহী ট্রায়োড বা ট্রানজিস্টার (Semi-conductor triode or Transistor) :

দুটি অর্ধপরিবাহী ডায়োডকে যুক্ত করে অর্ধপরিবাহী ট্রায়োড বা ট্রানজিস্টার গঠন করা হয়। Transfer এবং resistor এই দুটি শব্দের সংযোগে transistor কথাটি তৈরি হয়েছে। ট্রানজিস্টারে তৃতীয় একটি



চিত্র 2.15

ভূ-সংলগ্ন ধাতব তড়িৎদ্বার থাকে। একে বলা হয় ভূমি (base)। ট্রানজিস্টার দুই রকমের হতে পারে :—(i) N—P—N টাইপ এবং (ii) P—N—P টাইপ (চিত্র 2.15)।

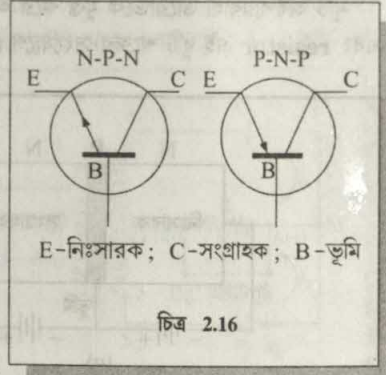
ট্রানজিস্টারে তড়িৎপ্রবাহ : N—P—N টাইপ ট্রানজিস্টারের বেলায় তড়িৎবর্তনী যে রূপ হয় তা 2.15(a) নং চিত্রে দেখানো হয়েছে। বাম দিকের N—P সংযোগ যে ডায়োড গঠন করে তাকে সম্মুখবর্তী বায়াসযুক্ত করলে [2.15(a) নং চিত্রানুযায়ী তড়িচ্চালক বল প্রয়োগ করে।] N—অঞ্চলে থেকে ইলেকট্রনগুলি সহজেই P স্তরের ‘গর্ত’সমৃদ্ধ ভূমি (base) অঞ্চলে চলে আসে। N-স্তর এক্ষেত্রে উত্তম ফিলামেন্টের ন্যায় ইলেকট্রন নিঃসরণ করে বলে একে ট্রানজিস্টারের নিঃসারক (emitter) বলা হয়। P-অঞ্চলে প্রবেশ করে কিছু ইলেকট্রন সেখানকার ‘গর্ত’ পূরণ করে কিন্তু বেশির ভাগ ইলেকট্রন দক্ষিণ দিকের N—P সংযোগের পজিটিভ বায়াসযুক্ত N স্তরের দ্বারা আকৃষ্ট হয়ে সেইদিকে চলে যায়। এই কারণে দক্ষিণ দিকের N-স্তরকে সংগ্রাহক (collector) বলা হয়। যেহেতু ‘গর্ত’সমৃদ্ধ P-স্তর খুবই পাতলা (প্রায় 2.5×10^{-3} cm পুরু) সেহেতু ইলেকট্রনের সামান্য অংশ ঐ স্তরের ‘গর্ত’ পূরণ করে ; শতকরা 95—99 ভাগ ইলেকট্রন সংগ্রাহকে উপস্থিত হয়। ফলে, ভূমি থেকে সংগ্রাহকে একটি জোরালো তড়িৎপ্রবাহ পাওয়া যায়। এক্ষেত্রে লক্ষণীয় যে (i) নিঃসারককে সর্বদা সম্মুখবর্তী এবং সংগ্রাহককে বিপরীতমুখী বায়াসযুক্ত করা হল এবং (ii) দুটি অর্ধপরিবাহী ডায়োডকে পিছনে-পিছনে (back to back) যুক্ত করে ট্রানজিস্টার গঠন করা হল।

P—N—P টাইপ ট্রানজিস্টারের বেলায় তড়িৎ সংযোগ উল্টো করা হয় [চিত্র 5.15(b)]। এক্ষেত্রে

বামদিকের P—N সংযোগ বিপরীতমুখী বায়াসযুক্ত থাকে, যাতে তার P-স্তর নিঃসারকের কাজ করে এবং দক্ষিণ দিকে P—N সংযোগ বিপরীতমুখী বায়াসযুক্ত হয় যাতে তার P-স্তর সংগ্রাহকের কাজ করতে পারে। পজিটিভ নিঃসারক P-স্তর N-ভূমি অঞ্চলে ‘গর্ত’ প্রেরণ করে (অথবা ভূমি হতে ইলেকট্রন আকর্ষণ করে)। এই গর্তগুলি তখন নেগেটিভ বায়াসযুক্ত সংগ্রাহক হতে ইলেকট্রন আকর্ষণ করে। এতে একটি তড়িৎপ্রবাহ সংগ্রাহক হতে ভূমির দিকে প্রবাহিত হয়। মেরুমুখের পরিবর্তন এবং তড়িৎ প্রবাহের অভিমুখের পরিবর্তন ছাড়া P—N—P ট্রানজিস্টারে অন্য কোনো প্রভেদ নেই।

পূর্বের আলোচনা হতে বোঝা যায় যে ট্রানজিস্টারে তিনটি মুখ্য অংশ আছে—(i) নিঃসারক (emitter) E (ii) সংগ্রাহক (collector) C এবং (iii) ভূমি (base) B। নিঃসারক-ভূমি অঞ্চলে তড়িৎবাহক (P—N—P টাইপ গর্ত এবং N—P—N টাইপে ইলেকট্রন)

প্রেরণ করে ট্রায়োড ভালভের ফিলামেন্টের ভূমিকা পালন করে। সংগ্রাহক ভূমি অঞ্চল হতে তড়িৎবাহককে আকর্ষণ করে ট্রানজিস্টারের ভিতর দিয়ে তড়িৎপ্রবাহ সৃষ্টি করে; সুতরাং এটা ট্রায়োড ভালভের প্লেটের ভূমিকা পালন করে। আর, ভূমি অঞ্চল যথোপযুক্ত বায়াস পেয়ে ট্রানজিস্টারের তড়িৎপ্রবাহ নিয়ন্ত্রিত করে; সুতরাং এটা ট্রায়োড ভালভের গ্রিডের ভূমিকা পালন করে। অতএব, ট্রানজিস্টার ট্রায়োড ভালভের সকল রকম কার্যই সম্পাদন করতে সক্ষম।



প্রতীক চিত্রের সাহায্যে N—P—N এবং P—N—P ট্রানজিস্টারকে 2.16 নং চিত্রের মতো দেখানো হয়। তিরচিহ্ন দ্বারা দুই ক্ষেত্রে তড়িৎপ্রবাহের অভিমুখ বুঝানো হয়েছে।

● ভালভের তুলনায় ট্রানজিস্টারের সুবিধা (Advantages of a transistor over a valve) :

ভালভের তুলনায় ট্রানজিস্টারের অনেক সুবিধা থাকায় প্রায় সব ইলেকট্রনিক যন্ত্রপাতিতে আজকাল ভালভের পরিবর্তে ট্রানজিস্টার ব্যবহৃত হচ্ছে। আকারে ট্রানজিস্টার অতি ক্ষুদ্র; তাই এটা বেশি জায়গা অধিকার করে না। ট্রানজিস্টার নির্মিত ইলেকট্রনিক যন্ত্রপাতি সাইজে খুব ছোটো হয়। ট্রানজিস্টারে কোন ফিলামেন্ট না থাকায়, ফিলামেন্টকে উত্তপ্ত করার জন্য ভালভে যেমন পৃথক বন্দোবস্তের প্রয়োজন হয়, ট্রানজিস্টারে তার কোনো প্রয়োজন হয় না। ট্রানজিস্টারের গঠনশৈলি বেশ মজবুত এবং অতি দীর্ঘকাল যাবৎ কর্মক্ষম থাকে। ভালভের কর্মক্ষম সময় ট্রানজিস্টারের তুলনায় অনেক কম। ভালভে ইলেকট্রনগুলি শূন্য মাধ্যমের ভিতর দিয়ে অথবা কোনো গ্যাস মাধ্যমের ভিতর দিয়ে চলে কিন্তু ট্রানজিস্টারে তড়িৎবাহকগুলি কঠিন পদার্থের ভিতর দিয়ে চলাচল করে। ভালভকে চালু রাখার জন্য উচ্চ ভোল্টেজ ব্যাটারি বা তড়িৎ-উৎস প্রয়োজন। কিন্তু ট্রানজিস্টার চালু রাখতে খুব সামান্য ভোল্টেজ দরকার হয়।

ট্রানজিস্টারের উপরোক্ত সুবিধা সত্ত্বেও যে সকল ইলেকট্রনিক যন্ত্রপাতিতে উচ্চ ভোল্টেজ বা উচ্চপ্রবাহ বর্তনী ব্যবহার করতে হয় সেখানে ভালভের বদলে ট্রানজিস্টার এখনও উপযোগী প্রমাণিত হয়নি।

2.10.

ট্রানজিস্টারের স্থৈতিক বৈশিষ্ট্য লেখ (Transistor static characteristics) :

বর্তনীতে ট্রানজিস্টার যুক্ত করার দুটি পদ্ধতি আছে—(i) সাধারণ নিঃসারক সংযোগ (common emitter connection অথবা CE mode) যেখানে ভূমি (B) এবং সংগ্রাহক (C) বর্তনী উভয়ই নিঃসারকের (E) সাথে যুক্ত এবং নিঃসারক নিজে ভূসংলগ্ন (ii) সাধারণ ভূমি সংযোগ (common

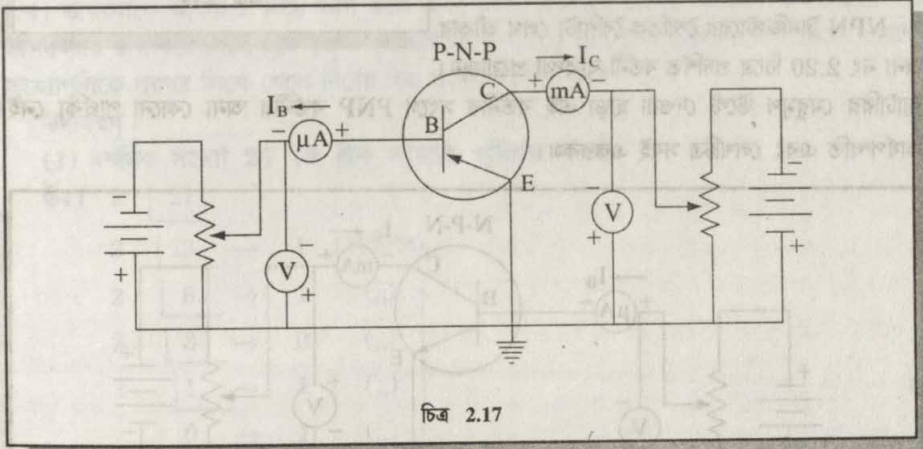
base connection অথবা CB mode) যেখানে নিঃসারক (E) বর্তনী এবং সংগ্রাহক (C) বর্তনী উভয়ই ভূমির (B) সাথে যুক্ত এবং ভূমি নিজে ভূ-সংলগ্ন।

উভয় সংযোগ (CE এবং CB) ব্যবস্থাতে ট্রানজিস্টারের বিভিন্ন প্রবাহমাত্রা এবং ভোল্টেজের মধ্যে পারস্পরিক সম্পর্ক লেখচিত্রের সাহায্যে দেখানো যায়। এই লেখচিত্রগুলিকে ট্রানজিস্টারের স্থৈতিক বৈশিষ্ট্য লেখ বলা হয়।

আমরা এখানে সাধারণ নিঃসারক সংযোগ (C-E mode) ব্যবস্থায় PNP এবং NPN ট্রানজিস্টারের বৈশিষ্ট্য লেখ আলোচনা করব।

(i) PNP ট্রানজিস্টারের বৈশিষ্ট্য লেখ :

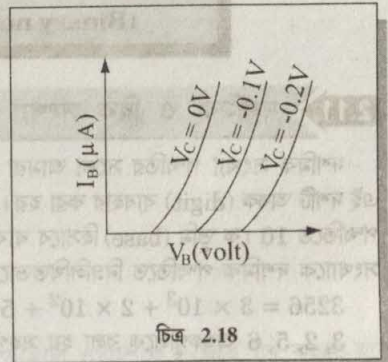
আমরা সাধারণ নিঃসারক সংযোগ (CE mode) ব্যবস্থায় একটি PNP ট্রানজিস্টার বিবেচনা করছি।



চিত্র 2.17

এর স্থৈতিক লেখ আঁকার জন্য 2.17 নং চিত্রে প্রদর্শিত বর্তনী ব্যবস্থা প্রয়োজন। লক্ষ্য করো ট্রানজিস্টারের ভূমি (B) এবং সংগ্রাহক (C) বর্তনী উভয়ই নিঃসারকের সাথে যুক্ত এবং নিঃসারক ভূ-সংলগ্ন। এখানে নিঃসারক-ভূমি বর্তনীকে বলা হয় ইনপুট বর্তনী (input circuit) এবং এটি সম্মুখবর্তী বায়াস যুক্ত; আর সংগ্রাহক-ভূমি বর্তনীকে বলা হয় আউটপুট বর্তনী (output circuit) এবং এটি বিপরীতবায়াস যুক্ত।

(a) ইনপুট বৈশিষ্ট্য লেখ (Input characteristic) : সংগ্রাহক ভোল্টেজ (V_C) অপরিবর্তিত রেখে বিভিন্ন ভূমি ভোল্টেজ (V_B) এবং ভূমি প্রবাহের (I_B) ভিতর লেখ আঁকলে সেটি হবে CE সংযোগ ব্যবস্থায় ইনপুট বৈশিষ্ট্য লেখ। 2.18 নং চিত্রে ইনপুট বৈশিষ্ট্য লেখ দেখানো হল। এই বৈশিষ্ট্য লেখগুলি সম্মুখ বায়াসযুক্ত ডায়োডের বৈশিষ্ট্য লেখচিত্রের অনুরূপ [5.10(a)] চিত্র দেখ। 2.18 নং চিত্র লক্ষ্য করলে দেখা যায় যে ভূমি ভোল্টেজ (V_B) স্থির রাখলে সংগ্রাহক ভোল্টেজের (V_C) মান বৃদ্ধির সঙ্গে ভূমিপ্রবাহ (I_B) কমে যায়।



চিত্র 2.18

(b) আউটপুট বৈশিষ্ট্য লেখ (Output characteristics) :

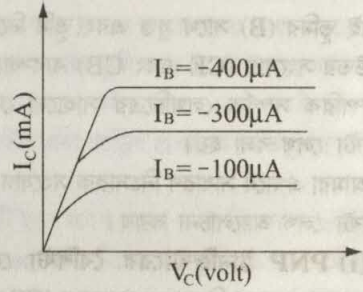
ভূমি প্রবাহমাত্রা (I_B) অপরিবর্তিত রেখে বিভিন্ন সংগ্রাহক

ভোল্টেজ (V_C) এবং সংগ্রাহক প্রবাহমাত্রা (I_C) ভিতর লেখ আঁকলে সেটি হবে CE সংযোগ ব্যবস্থায় আউটপুট বৈশিষ্ট্য লেখ। 2.19 নং চিত্রে আউটপুট বৈশিষ্ট্য লেখ দেখানো হল। লক্ষ কর যে $V_C = 0$ হলেও I_C শূন্য হয় না। এর কারণ এই যে নিঃসারক ও সংগ্রাহক অঞ্চল দুটি পরস্পরের অত্যন্ত নিকটবর্তী হলে কিছু সংখ্যক ‘গর্ত’ সংগ্রাহক ভোল্টেজ (V_C) শূন্য হলেও সংগ্রাহকে পৌঁছে যায়। একমাত্র V_C বিপরীত মেরু যুক্ত করলে $I_C = 0$ হবে।

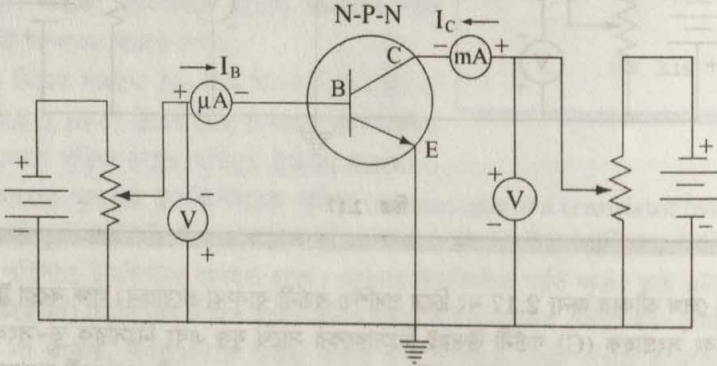
(ii) NPN ট্রানজিস্টরের বৈশিষ্ট্য

NPN ট্রানজিস্টরের স্থৈতিক বৈশিষ্ট্য লেখ আঁকার জন্য নং 2.20 চিত্রে প্রদর্শিত বর্তনী ব্যবস্থা প্রয়োজন।

ব্যাটারির মেরুমুখ উল্টে দেওয়া ছাড়া এই বর্তনীর সংগে PNP বর্তনীর অন্য কোনো পার্থক্য নেই। কার্যপদ্ধতি এবং লেখচিত্র সবই একরকম।



চিত্র 2.19



চিত্র 2.20

❁ দ্বিক সংখ্যা এবং লজিক গেট ❁ (Binary numbers and Logic gates)

2.11 দশমিক ও দ্বিক সংখ্যা (Decimal and binary numbers):

দশমিক সংখ্যা পদ্ধতির সঙ্গে আমরা অতি পরিচিত। এই পদ্ধতিতে 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, এই দশটি অঙ্ক (digit) ব্যবহার করা হয়। প্রত্যেকটি অঙ্কের অবস্থানের তাৎপর্য আছে। দশমিক সংখ্যা পদ্ধতিতে 10 কে ভূমি (base) হিসাবে ব্যবহার করা হয়। যেমন, 3256 (তিন হাজার দুশো ছাপ্পান্ন) এই সংখ্যাকে দশমিক পদ্ধতিতে নিম্নলিখিতভাবে প্রকাশ করা যায় :

$$3256 = 3 \times 10^3 + 2 \times 10^2 + 5 \times 10^1 + 6 \times 10^0$$

3, 2, 5, 6 অঙ্কগুলিকে বলা হয় সহগ (coefficient) এবং 10কে বলা হয় ভূমি (base)। 10-এর শক্তি চিহ্ন (power) গুলিকে (3, 2, 1, 0) বলা হয় ভূমির ঘাত (power)।

একইভাবে ভগ্নাংশ সংখ্যাকেও আমরা দশমিক পদ্ধতিতে নিম্নলিখিতভাবে প্রকাশ করতে পারি। যেমন,

$$0.5821 = 5 \times 10^{-1} + 8 \times 10^{-2} + 2 \times 10^{-3} + 1 \times 10^{-4}$$

এবং $58.21 = 5 \times 10^1 + 8 \times 10^0 + 2 \times 10^{-1} + 1 \times 10^{-2}$ ইত্যাদি।

দ্বিক সংখ্যা পদ্ধতিতে ভূমি 2 এবং সহগ 1 অথবা 0 (ভূমি 2 থেকে 1 কম)। 1 এবং 0 অঙ্ক দুটির প্রত্যেকটিকে 'বিট' (bit) বলা হয়।

2.12. দশমিক সংখ্যাকে দ্বিক সংখ্যায় রূপান্তর (Decimal to binary conversion) :

দশমিক সংখ্যাকে দ্বিক সংখ্যায় রূপান্তর করতে হলে সংখ্যাকে 2 দিয়ে ভাগ করো এবং ভাগশেষ লিখে রাখ। ভাগফলকে আবার 2 দিয়ে ভাগ করো এবং ভাগশেষ লিখে রাখো। এইভাবে ক্রমাগত 2 দিয়ে ভাগফলকে ভাগ করে যেতে হবে যতক্ষণ না ভাগফল শূন্য (0) হয়। তারপর তলার দিক থেকে ভাগশেষ সংখ্যাগুলিকে পরপর লিখে গেলে নির্ণেয় দ্বিক সংখ্যা পাওয়া যাবে।

উদাহরণ :

(1) দশমিক সংখ্যা 27 কে দ্বিক সংখ্যায় পরিণত করো।

উঃ।	2	|	27	
	2	|	13	→ 1 (ভাগশেষ)
	2	|	6	→ 1 (,,) ↑
	2	|	3	→ 0 (,,)
	2	|	1	→ 1 (,,)
			0	→ 1 (,,)

ভাগফল শূন্য হওয়ায় আর ভাগ দেবার প্রয়োজন নেই। এবার তিরচিহ্ন অনুযায়ী তলার দিক থেকে ভাগশেষগুলিকে পর পর লিখলে পাই 11011; অতএব, নির্ণেয় দ্বিক সংখ্যা = 11011

(2) দশমিক সংখ্যা $(125)_{10}$ কে দ্বিক সংখ্যায় রূপান্তর কর।

[দ্রঃ সংখ্যার তলায় ছোটো অঙ্করে 10 বোঝায় যে সংখ্যাটি দশমিক সংখ্যা। তেমনি দ্বিক সংখ্যার তলায় ছোটো অঙ্করে 2 লেখা থাকলে বোঝাবে যে সংখ্যাটি দ্বিক সংখ্যা]

উঃ।	2	|	125	
	2	|	62	→ 1 (ভাগশেষ)
	2	|	31	→ 0 (,,)
	2	|	15	→ 1 (,,) ↑
	2	|	7	→ 1 (,,)
	2	|	3	→ 1 (,,)
	2	|	1	→ 1 (,,)
			0	→ 1 (,,)

∴ নির্ণেয় সংখ্যা = $(1111101)_2$

দশমিক ভগ্নাংশ রাশিকে দ্বিক ভগ্নাংশে রূপান্তরিত করতে হলে ভগ্নাংশকে 2 দিয়ে গুণ করতে হবে। গুণফলের ভগ্নাংশকে আবার 2 দিয়ে গুণ করতে হবে। এইভাবে ক্রমাগত ভগ্নাংশকে 2 দিয়ে গুণ করে যেতে

হবে যতক্ষণ না গুণফলের ভগ্নাংশ অংশ শূন্য (0) বা পূর্ণমান 1 হয়। তারপর পূর্ণ মানগুলি (1 অথবা 0) ওপর থেকে নীচের দিকে পরপর লিখলে এবং সর্ববামে দশমিক বিন্দু বসালে দ্বিক ভগ্নাংশ পাওয়া যাবে।

উদাহরণ : (1) 0.625 কে দ্বিক ভগ্নাংশে পরিণত করো।

উঃ।	পূর্ণমান	ভগ্নাংশ
$0.625 \times 2 = 1.250$	= 1	+ .250
$0.250 \times 2 = 0.500$	= 0	+ .500
$0.500 \times 2 = 1.000$	= 1	+ .000

গুণফলের ভগ্নাংশ অংশ শূন্য (0) এবং পূর্ণমান 1 হওয়ায় আর গুণ করার প্রয়োজন নেই।

এবার পূর্ণমানগুলিকে (1 এবং 0) ওপর থেকে নীচে পরপর লিখলে এবং সর্ববামে দশমিক বিন্দু বসালে নির্ণেয় দ্বিকভগ্নাংশ $(0.101)_2$ পাওয়া যাবে।

(2) 27.125 দশমিক ভগ্নাংশকে দ্বিক ভগ্নাংশ সংখ্যায় রূপান্তরিত করো।

উঃ। প্রদত্ত সংখ্যাটির পূর্ণমান 27-এর তুল্য দ্বিক সংখ্যা = $(11011)_2$ [1 নং উদাহরণ দেখো] ভগ্নাংশ 0.125 এর তুল্য দ্বিক ভগ্নাংশ নিম্নলিখিতভাবে পাওয়া যাবে :

	পূর্ণমান	ভগ্নাংশ
$0.125 \times 2 = 0.250$	→ 0	+ 0.250
$0.250 \times 2 = 0.500$	→ 0	+ 0.500
$0.500 \times 2 = 1.000$	→ 1	+ 0.000

ওপর থেকে নীচে পূর্ণমানগুলি পরপর লিখে সর্ববামে দশমিক বিন্দু বসালে পাই 0.001 ; সুতরাং $(27.125)_{10}$ দশমিক সংখ্যার তুল্য দ্বিক সংখ্যা হবে = $(11011.001)_2$

[দ্র : দশমিক ভগ্নাংশের শেষ অঙ্ক (digit) 5 হলে তাকে যথাযথ দ্বিক ভগ্নাংশে পরিণত করা যায় ; কিন্তু শেষ অঙ্ক 5 ছাড়া অন্য কিছু হলে, তাকে যথাযথ দ্বিক ভগ্নাংশে পরিণত করা যায় না।]

2.13. দ্বিক সংখ্যাকে দশমিক সংখ্যায় রূপান্তর (Binary to decimal conversion) :

এই রূপান্তর বোঝার আগে আমরা জেনে নেব যে দশমিক পদ্ধতিতে কোনো সংখ্যা গঠনে যে অঙ্কগুলি (digits) ব্যবহার করা হয় তাদের প্রত্যেকটির গুরুত্ব (weightage) কতটা। উদাহরণস্বরূপ একটি সংখ্যা 4352 নেওয়া যাক। এই সংখ্যার অংকগুলির গুরুত্ব কীরূপ তা নীচের তালিকায় দেওয়া হল।

অংক	গুরুত্ব	
2	10^0	স্পষ্টত
5	10^1	$4352 = 4 \times 10^3 + 3 \times 10^2 + 5 \times 10^1 + 2 \times 10^0$
3	10^2	
4	10^3	

উপরের তালিকা থেকে বোঝা যায় যে এককের স্থানের (unit place) অংকটির গুরুত্ব দশকের স্থানের (ten's place) অঙ্কের গুরুত্ব অপেক্ষা কম; আবার দশকের স্থানের অঙ্কটির গুরুত্ব শতকের স্থানের অংকের গুরুত্ব অপেক্ষা কম, ইত্যাদি।

এবার আমরা দ্বিক সংখ্যা গঠনের অঙ্কগুলির গুরুত্ব বিবেচনা করব। দ্বিক সংখ্যায় আমরা যত ডান দিক থেকে বাঁদিকে যাই, দশমিক পদ্ধতিতে রূপান্তরিত অঙ্কগুলির মান পর পর 2 করে বেড়ে যায়। যেমন, দ্বিক সংখ্যা 10111 বিবেচনা করো। এর অর্থ $1 \times 2^0 + 1 \times 2^1 + 1 \times 2^2 + 0 \times 2^3 + 1 \times 2^4$

কাজেই এটা হবে $1 + 2 + 4 + 0 + 16 = (23)_{10}$ (ভূমি 10 ব্যবহার করলে)।

$$\therefore (10111)_2 = (23)_{10}$$

উদাহরণ (1) $(11011)_2$ দ্বিক সংখ্যাকে দশমিক সংখ্যায় প্রকাশ করো।

$$\begin{aligned} \text{উ : } (11011)_2 &= 1 \times 2^0 + 1 \times 2^1 + 0 \times 2^2 + 1 \times 2^3 + 1 \times 2^4 \\ &= 1 + 2 + 0 + 8 + 16 = (27)_{10}. \end{aligned}$$

(2) $(111011)_2$ দ্বিক সংখ্যাকে দশমিক সংখ্যায় প্রকাশ কর।

$$\begin{aligned} \text{উ : } (111011)_2 &= 1 \times 2^0 + 1 \times 2^1 + 0 \times 2^2 + 1 \times 2^3 + 1 \times 2^4 + 1 \times 2^5 \\ &= 1 + 2 + 0 + 8 + 16 + 32 \\ &= (59)_{10} \end{aligned}$$

2.14. লজিক গেট (Logic gates) :

আমরা অনেক সময় এমন এমন প্রশ্নের সম্মুখীন হই যাদের উত্তর হতে পারে দুটি—হয় YES অথবা NO. আবার এমন সব বস্তু পাওয়া যায় যারা দুটি সম্ভাব্য অবস্থার যে-কোনো একটিতে থাকতে পারে। যেমন, একটি বৈদ্যুতিক বাল্ব হয় ON অবস্থায়, না হয় OFF অবস্থায় থাকে। কোনো উদ্ভি হয় সত্যি না হয় মিথ্যা হতে পারে।

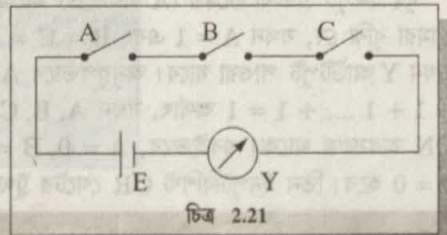
যে সকল ইলেকট্রনিক বর্তনী দ্বিক সুইচ প্রক্রিয়া অর্থাৎ, OFF এবং ON অথবা YES এবং NO সম্পন্ন করার জন্য ব্যবহৃত হয় তাদের বলা হয় লজিক গেট বা লজিক বর্তনী। এই বর্তনীগুলিকে লজিক বর্তনী বলা হয় কারণ 1850 খ্রিস্টাব্দে জর্জ বুল প্রবর্তিত বুলিয়ান বীজগণিত (Boolean algebra) দ্বারা এদের বিশ্লেষণ করা যায়। লজিক গেট বর্তনীতে সাধারণত একাধিক ইনপুট থাকে কিন্তু আউটপুট থাকে মাত্র একটি। প্রধানত তিনটি মূখ্য লজিক গেট আছে যাদের বলা হয় AND, OR এবং NOT গেট।

(i) AND গেট :

AND গেট বর্তনীতে একাধিক ইনপুট সিগনাল (signal) থাকতে পারে কিন্তু আউটপুট সিগনাল পাওয়া যায় একটি এবং তাও যখন সবকটি ইনপুট সিগনাল একসঙ্গে ON অথবা 1 অবস্থায় থাকে। AND গেটে নিম্নলিখিত সংজ্ঞা অনুযায়ী আউটপুট কাজ করে।

AND গেটের আউটপুট ON অবস্থা অথবা 1 অবস্থা পাবে কেবলমাত্র তখনই যখন সব কটি ইনপুট একসঙ্গে ON অবস্থা অথবা 1 অবস্থায় থাকবে। এই কারণে অনেক সময় AND গেটকে সমাপতিত (coincidence) গেটও বলা হয় কারণ সব কটি ইনপুট একই সঙ্গে অথবা সমাপতিত হলেই আউটপুট পাওয়া যায়। AND গেটের কার্যপ্রণালী বোঝার জন্য একটি সরল তড়িৎবর্তনীর সাহায্য নেওয়া যেতে পারে।

2.21 নং চিত্রে তিনটি সুইচ A, B এবং C শ্রেণি সমবায়ে একটি ব্যাটারি E এবং একটি গ্যালভানোমিটার Y-এর সঙ্গে যুক্ত আছে। বলা বাহুল্য যে তিনটি সুইচকে একসঙ্গে ON করলে, তবেই গ্যালভানোমিটারে বিক্ষেপ পাওয়া যাবে অথবা গ্যালভানোমিটার ON অবস্থা পাবে। বিক্ষেপকে আউটপুট ধরলে, সুইচ তিনটিকে তিনটি ইনপুট ধরা যায়। সহজেই বোঝা যায় গ্যালভানোমিটার

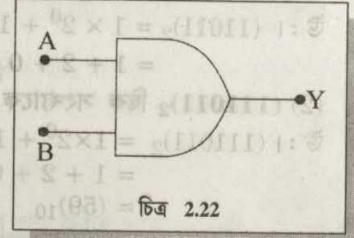


OFF অবস্থায় থাকবে (অথবা কোনো বিক্ষেপ পাওয়া যাবে না) যদি একটি বা দুটি সুইচ OFF রেখে তৃতীয়টি ON করা হয়। কাজেই এই বর্তনী AND গেটের তুল্য। AND প্রক্রিয়াকে বুলিয়ান বীজগণিতে (.) ফুটকি দ্বারা বোঝানো হয়। লেখা হয় $A.B.C = Y$

ON অবস্থাকে 1 এবং OFF অবস্থাকে 0 মনে করলে উপরোক্ত সমীকরণ দাঁড়াবে $1.1.1 = 1$ যদি $A = 1, B = 1$, কিন্তু $C = 0$ অর্থাৎ, A এবং B উভয়েই ON কিন্তু C OFF অবস্থায় থাকে তাহলে

কোনো আউটপুট পাওয়া যাবে না—Y থাকবে OFF অবস্থায়। লেখা যাবে $1.1.0 = 0$; ON এবং OFF অবস্থার বিভিন্ন সমন্বয় বিবেচনা করলে ফলাফলকে নিম্নলিখিতভাবে তালিকাভুক্ত করা যায়। এই ধরনের তালিকাকে বলা হয় ‘ট্রুথ টেবল’ (truth table)

ইনপুট		আউটপুট
A	B	Y
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

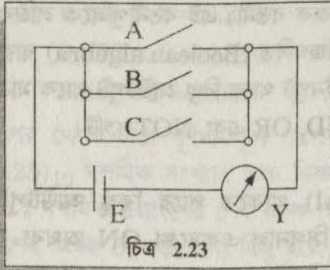


2-ইনপুট AND গেটের ট্রুথ টেবল

2.22 নং চিত্রে দুই ইনপুটবিশিষ্ট AND গেটের প্রতীক চিহ্ন দেখানো হয়েছে। দুটি অর্ধপরিবাহী ডায়োডের সাহায্যে AND গেটের বাস্তবরূপ দেওয়া যায়।

(ii) OR গেট :

OR গেটে একাধিক ইনপুট থাকে এবং যে কোনো ইনপুট ON অবস্থায় থাকলেই আউটপুট ON অবস্থায় থাকে। নিম্নলিখিত সংজ্ঞা অনুযায়ী OR গেটের আউটপুট ক্রিয়া করে।



OR গেটের আউটপুট ON অথবা 1 অবস্থায় থাকে যখন এর একাধিক ইনপুটের যে-কোনো একটি ON অথবা 1 অবস্থায় থাকে।

এই গেটের কার্যপ্রণালী বোঝার জন্য নিম্নলিখিত সরল তড়িৎ বর্তনী বিবেচনা করা যাক। 2.23 নং চিত্রে A, B এবং C তিনটি সুইচ সমান্তরাল সমবায়ে একটি ব্যাটারি E এবং একটি গ্যালভানোমিটার Y-এর সঙ্গে যুক্ত। গ্যালভানোমিটারে বিক্ষেপ পাওয়া যাবে (অর্থাৎ, আউটপুট ON অথবা 1 অবস্থায় থাকবে) যখন সুইচ A অথবা সুইচ B অথবা সুইচ C অথবা তিনটি সুইচই

ON অবস্থায় বা 1 অবস্থায় থাকবে। কিন্তু সুইচ তিনটি একসঙ্গে OFF অথবা 0 অবস্থায় থাকলে, কোনো আউটপুট থাকবে না (অথবা আউটপুট OFF অথবা 0 অবস্থায় থাকবে)। এই তড়িৎবর্তনী ব্যবস্থা OR গেটের সমতুল্য।

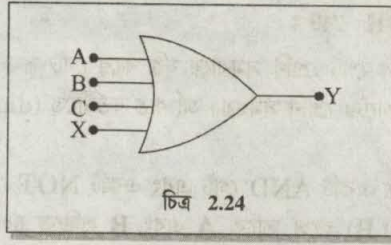
বুলিয়ান বীজগণিতে OR গেটের উপরোক্ত প্রক্রিয়া নিম্নলিখিতভাবে প্রকাশ করা হয়:

$$A + B + C + \dots + X = Y.$$

দুই ইনপুট প্রতীক চিহ্নের (A এবং B) মাঝে + চিহ্ন OR গেট বুঝায়। উপরোক্ত সমীকরণ থেকে আমরা বুঝি যে, যখন $A = 1$ এবং $B = C = \dots X = 0$, তখন $Y = 1$ অর্থাৎ A যখন 1 অবস্থায় তখন Y আউটপুট পাওয়া যাবে। অনুরূপভাবে $A = 1, B = 1, C = 1, \dots X = 1$, হলে, $Y = 1 + 1 + 1 + \dots + 1 = 1$ অর্থাৎ, যখন A, B, C প্রভৃতি সব ইনপুট ON অবস্থায় তখন আউটপুট Y ON অবস্থায় থাকে। একইভাবে, $A = 0, B = 0, C = 0 \dots X = 0$ হলে, $Y = 0 + 0 + 0 + \dots + 0 = 0$ হবে। তিন ইনপুটবিশিষ্ট OR গেটের ট্রুথটেবল হবে নিম্নরূপ :

ইনপুট			আউটপুট
A	B	C	Y
0	0	0	0
0	0	1	1
0	1	0	1
0	1	1	1

ইনপুট			আউটপুট
A	B	C	Y
1	0	0	1
1	0	1	1
1	1	0	1
1	1	1	1

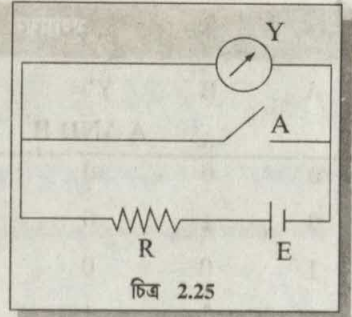


2.24 নং চিত্রে চার ইনপুটবিশিষ্ট OR গেটের প্রতীক চিহ্ন দেখানো হল।

(iii) NOT গেট :

NOT গেটে আউটপুট পাওয়া যায় কেবলমাত্র তখনই যখন ইনপুট অনুপস্থিত। এই বর্তনীতে একটি ইনপুট এবং একটি আউটপুট থাকে। নিম্নলিখিত সংজ্ঞা অনুযায়ী NOT গেট নঞর্থক লজিক (logic negation) প্রক্রিয়া সম্পন্ন করে।

NOT গেটে আউটপুট ON অথবা 1 অবস্থা পায় তখনই যখন ইনপুট OFF অথবা 0 অবস্থায় থাকে। যেমন, ইনপুট $A = 0$ হলে আউটপুট $Y = 1$ এবং ইনপুট $A = 1$ হলে আউটপুট $Y = 0$; লক্ষ কর NOT গেট ইনপুট সংকেতের প্রকৃতিকে (nature) বিপরীত আউটপুটে রূপান্তরিত করে বলে একে ‘ইনভারটার’ (inverter) নাম দেওয়া হয়েছে।

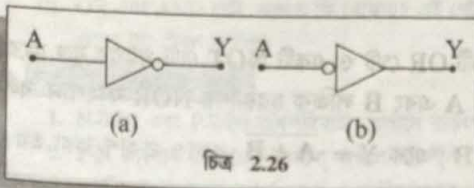


2.25 নং চিত্রে তড়িৎ-বর্তনীর সাহায্যে NOT গেটের কার্যপ্রণালী পরিষ্কার বোঝা যাবে। চিত্র থেকে বোঝা যায় যে সুইচ A OFF অবস্থায় থাকলে ব্যাটারি (E) প্রদত্ত প্রবাহ গ্যালভানোমিটার Y দিয়ে যাবে এবং গ্যালভানোমিটারে বিক্ষেপ পাওয়া যাবে। বলা যায় যখন $A = 0$ (অথবা OFF) তখন $Y = 1$ (অথবা ON)। আবার সুইচ A ON অবস্থায় থাকলে, সমস্ত প্রবাহ সুইচের ভিতর দিয়ে যাবে। কোনো প্রবাহ গ্যালভানোমিটারে যাবে না। ফলে গ্যালভানোমিটারে কোনো বিক্ষেপ পাওয়া যাবে না। বলা যায় যখন $A = 1$ (অথবা ON), তখন $Y = 0$ (অথবা OFF)।

NOT গেটের ট্রুথটেবল নিম্নরূপ :

ইনপুট A	আউটপুট Y
1	0
0	1

2.26 নং (a) এবং (b) চিত্রে NOT গেটের প্রতীক চিহ্ন দেখানো হয়েছে। প্রতীক চিহ্নে নঞর্থক



লজিক-কে (logic negation) ছোট্টো বৃত্ত (o) দ্বারা বোঝানো হয়। (a) নং চিত্র বোঝায় যে $A = 1$ এবং $Y = 0$ কারণ বৃত্ত আউটপুটের দিকে আছে। এই প্রতীক চিহ্নটি NOT গেটের প্রতীক। (b) নং চিত্র বোঝায় $A = 0$ এবং $Y = 1$ কারণ বৃত্ত ইনপুটের দিকে আছে।

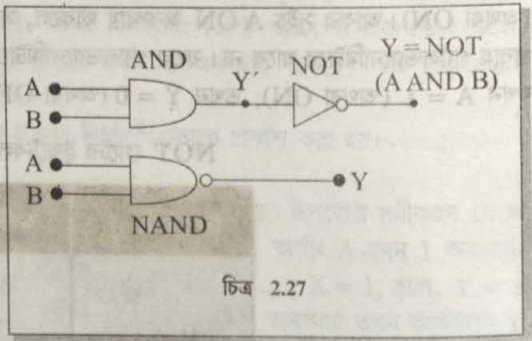
***(iv) NAND এবং NOR গেট :**

অনেক সময় দুই বা ততোধিক গেট শ্রেণি সম্বায়ে যুক্ত করে গেট সমন্বয় গঠন করা হয়। NAND এবং NOR গেট এ রকম দুটি গেটের শ্রেণি সমন্বয়। অধিকত বর্তনীতে (digital circuits) গেট সমন্বয় প্রায়ই ব্যবহার করা হয়।

NAND গেট তৈরি করা হয় একটি AND গেট এবং একটি NOT গেট পরপর যুক্ত করে। কোন ফাংশান $Y = \text{NOT}(A \text{ AND } B)$ হলে তাকে **A** এবং **B** লজিক চলরাশির (logic variables) NAND ফাংশান বলা হয়। প্রতীকের সাহায্যে লেখা হয় $Y = \overline{A \cdot B}$ অথবা $Y = \overline{AB}$ (**A** এবং **B** এর ভিতর ডট না দিয়ে)। একে **A NAND B** রূপেও লেখা হয়। নিচের তালিকায় \overline{AB} এর মূল্যায়ন (evaluation) ও ট্রুথটেবল দেখানো হল।

মূল্যায়ন				ট্রুথটেবল		
A	B	$Y' = A \text{ AND } B$	$\overline{AB} = Y = \text{NOT}(A \text{ AND } B)$	A	B	$\overline{A \cdot B}$
0	0	0	1	0	0	1
0	1	0	1	0	1	1
1	0	0	1	1	0	1
1	1	1	0	1	1	0

NAND গেটের গঠন 2.27(a) নং চিত্রে দেখানো হল। 2.27(b) চিত্রে NAND গেটের প্রতীক দেখানো হয়েছে। লক্ষ্য কর এই প্রতীক AND গেটের প্রতীকের মত ; তফাৎ এই যে আউটপুটে ছোট বৃত্ত (o) আছে। ছোট বৃত্তটি NOT অথ বা ইনভারটার প্রক্রিয়া বোঝায়। লক্ষ্য কর যে AND গেটের আউটপুট (Y') NOT গেটের ইনপুটরূপে ব্যবহৃত হয়ে সম্পূর্ণ NAND গেট তৈরি হয়েছে। আরও লক্ষ্য কর যে, NAND গেটের সবকটি ইনপুট যখন উচ্চমানের অবস্থায় (1 অবস্থায়) থাকে তখন আউটপুট উচ্চমানের অবস্থায় থাকে না (উপরোক্ত ট্রুথ টেবিলের শেষ লাইন দ্রষ্টব্য)।

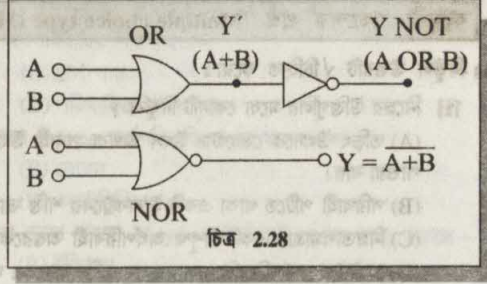


(v) NOR গেট :

একই রকমভাবে NOR গেট তৈরি করা হয় একটি OR গেট ও একটি NOT গেট পরপর যুক্ত করে। কোন ফাংশান $Y = \text{NOT}(A \text{ OR } B)$ হলে তাকে **A** এবং **B** লজিক চলরাশির NOR ফাংশান বলা হয়। প্রতীকের সাহায্যে লেখা হয় $Y = A \text{ NOR } B$; একে $Y = \overline{A + B}$ রূপেও প্রকাশ করা হয়।

মূল্যায়ন				ট্রুথ টেবল		
A	B	$Y' (A + B)$	$\overline{A+B} (=Y)$	A	B	$\overline{A+B}$
0	0	0	1	0	0	1
0	1	1	0	0	1	0
1	0	1	0	1	0	0
1	1	1	0	1	1	0

NOR গেটের জন্য যে প্রতীক ব্যবহার করা হয় তা 2.28 নং চিত্রে দেখানো হয়েছে। লক্ষ্য কর যে OR গেটের আউটপুট NOT গেটের ইনপুট হিসাবে ব্যবহৃত হয়েছে। আরও লক্ষ্য কর যে NOR গেটের সব কটি ইনপুট নিম্নমানের অবস্থায় (অর্থাৎ, 0-অবস্থায়) না থাকলে আউট পুট সকল ক্ষেত্রে 0-অবস্থায় থাকে। (ট্রুথটেবল দ্রষ্টব্য)।



প্রশ্নাবলি

→ রচনামূলক প্রশ্ন

- ইলেকট্রন তত্ত্ব অনুযায়ী পরিবাহী, অন্তরক ও অর্ধপরিবাহীর ভিতর পার্থক্য কী? N-টাইপ এবং P-টাইপ অর্ধপরিবাহী কাকে বলে? এদের একটি করে উদাহরণ দাও।
 - অর্ধপরিবাহী কাকে বলে? একটি অর্ধপরিবাহী ডায়োড একমুখীকারক হিসাবে কীভাবে কার্য করে তা ব্যাখ্যা করো।
 - N-শ্রেণি ও P-শ্রেণি অর্ধপরিবাহীর মধ্যে পার্থক্য কি? P-N সংযোগের ক্ষেত্রে ‘সম্মুখ বায়াস’ ও ‘বিপরীত বায়াস’ বলতে কী বোঝায়?
 - একটি p-n সংযোগ ডায়োডের তড়িৎপ্রবাহ বনাম ভোল্টেজের লেখচিত্র একে দেখাও ও ব্যাখ্যা করো।
 - একটি অর্ধপরিবাহীর রোধ তাপমাত্রা বৃদ্ধির ফলে কীরূপ পরিবর্তিত হয়?
 - জার্মানিয়াম কেলাসে উপযুক্ত পরিমাণ আর্সেনিক প্রতিস্থাপিত করলে কোনো জাতীয় অর্ধপরিবাহী পাওয়া যায়?
- [Jt. Entrance 1987]
- P-N ডায়োডে নিঃশেষিত অঞ্চল কীভাবে গঠিত হয়? এই অঞ্চলের ওপর সম্মুখবর্তী ও বিপরীত বায়াসের প্রভাব কি?
- [Jt. Entrance 1983]
- সম্মুখবর্তী ও বিপরীত বায়াসের ক্ষেত্রে একটি p-n সংযোগ ডায়োডের বৈশিষ্ট্য লেখ অঙ্কন করো এবং ব্যাখ্যা করো।
 - একটি p-n-p সংযোগ ট্রানজিস্টারের ক্রিয়া সংক্ষেপে বর্ণনা করো। CE mode-এ এই ট্রানজিস্টারের ঐচ্ছিক বৈশিষ্ট্য লেখ অঙ্কন করো।
 - দশমিক পদ্ধতি ও দ্বিক পদ্ধতির ভিতর পার্থক্য কি?
 - কোনো সংখ্যা পদ্ধতির ভূমি (base) বলতে কি বোঝায়? দশমিক পদ্ধতি এবং দ্বিক পদ্ধতির ক্ষেত্রে ভূমি কত?
 - OR এবং AND গেট বলতে কি বোঝায়? এই গেট দুটির কার্যপ্রণালী সরল তড়িৎ-বর্তনীর সাহায্যে ব্যাখ্যা করো। এদের ট্রুথ টেবল লেখো।

→ সংক্ষিপ্ত উত্তরের প্রশ্ন

- N-টাইপ এবং P-টাইপ অর্ধপরিবাহী কেলাসে তড়িৎপরিবহনে মুখ্য ভূমিকা কার?
 - P-N জংশন ডায়োডের কোনো অঞ্চলে গতিশীল ইলেকট্রন বা গর্ত নাই?
 - একটি জংশন ডায়োড পূর্ণতরঙ্গ একমুখীকারকের বর্তনী একে দেখাও।
- [Jt. Entrance 1987]
- [Jt. Entrance 1999]

4. উন্নতা বৃদ্ধিতে পরিবাহীর রোধ বৃদ্ধি পায় কিন্তু অর্ধপরিবাহীর রোধ হ্রাস পায়। কেন?
5. তুমি বিশুদ্ধ সিলিকন নিয়েছ এবং ফসফরাসকে অপদ্রব্য হিসাবে প্রবেশ করিয়েছ। সেক্ষেত্রে তুমি কী ধরনের অপদ্রব্য অর্ধপরিবাহী লাভ করবে? যুক্তি সহ লেখো। [Jt. Entrance 1999]
6. দশমিক পদ্ধতি ও দ্বিক পদ্ধতি বলতে কী বোঝায়?
7. লজিক বর্তনী বা গেট কি?
8. নিম্নলিখিত গেটগুলির প্রতীক চিহ্ন অঙ্কন করো : (a) AND (b) OR (c) NOT
9. Inverter কাকে বলে? এর এই নাম কেন?
10. একটি AND গেটের আউটপুটকে NOT গেটের ইনপুটে প্রয়োগ করা হল। A এবং B হল AND গেটের দুই ইনপুট এবং Y গেটের অন্তিম আউটপুট। এই গেট সমন্বয়ের ট্রুথ টেবল লেখো। এই সমন্বয় গেটকে কি বলা হয়?
11. বুলিয়ান বীজগণিতে AND এবং OR গেটকে কীভাবে প্রকাশ করা হয়?

➔ **বহুমুখী পছন্দের প্রশ্ন [Multiple choice type (MCQ)]**

(A) নির্ভুল উত্তরটি ✓ চিহ্নিত করো :

[i] নিম্নের উক্তিগুলির মধ্যে কোন্টি নির্ভুল ?

- (A) ডিউং উৎসকে ডোটেজ উৎস অথবা প্রবাহী উৎস যেকোনটি ধরে বর্তনী বিশ্লেষণ করলে, একই ফলাফল পাওয়া যায়।
- (B) পরিবাহী পটিতে থাকা একটি ইলেকট্রনের শক্তি ভ্যালেন্স পটিতে থাকা ইলেকট্রনের শক্তি অপেক্ষা বেশী।
- (C) নিম্নতাপমাত্রায় একটি বিশুদ্ধ অর্ধপরিবাহী অন্তরকের ন্যায় আচরণ করে।
- (D) N-টাইপ অর্ধপরিবাহিতে সংখ্যালঘু তড়িৎবাহকের ঘনত্ব (concentration) তাপমাত্রার উপর নির্ভর করে না।

[ii] একটি তড়িৎনিরপেক্ষ অর্ধপরিবাহিতে—

- (A) সমপরিমাণ নেগেটিভ ও পজিটিভ আধান থাকে,
- (B) কোন সংখ্যালঘু তড়িৎবাহক থাকে না,
- (C) কোন সংখ্যাগুরু তড়িৎবাহক থাকে না,
- (D) কোন মুক্ত আধান থাকে না।

[iii] P-N সংযোগে বিভব প্রতিবন্ধক গঠিত হয়—

- (A) সংযোগের দুইপাশে স্থির গ্রহিতা ও দাতা আয়নে সমাবেশের ফলে,
- (B) সংযোগের দুই পাশে সংখ্যালঘু বাহকের সমাবেশের ফলে,
- (C) সংযোগের দুই পাশে সংখ্যাগুরু বাহকের সমাবেশের ফলে,
- (D) সংযোগের দুই পাশে সংখ্যা লঘু ও সংখ্যাগুরু উভয় ধরনের বাহকের সমাবেশের ফলে।

[iv] অর্ধপরিবাহী ডায়োডে উপর বিভব প্রতিবন্ধক কেবল মাত্র—

- (A) N-অঞ্চলের সংখ্যাগুরু বাহকের বিরুদ্ধতা করে,
- (B) P-অঞ্চলের সংখ্যাগুরু বাহকের প্রতিবন্ধকতা করে,
- (C) উভয় অঞ্চলের সংখ্যাগুরু বাহকের প্রতিবন্ধকতা করে,
- (D) উভয় অঞ্চলের সংখ্যালঘু বাহকের প্রতিবন্ধকতা করে।

[v] P-N সংযোগ ডায়োড নিম্নলিখিত ক্ষেত্রে ব্যবহার করা যায় না—

- (A) একমুখীকরণ কাজে
- (B) আলোকশক্তিকে তড়িৎশক্তিকে রূপান্তরণের কাজে
- (C) আলোক বিকিরণ উৎপন্ন করতে
- (D) এ.সি. সংকেতের বিস্তার বৃদ্ধি করতে।

[vi] ট্রানজিস্টারকে বিবর্ধকরূপে কাজ করাতে হলে—

- (A) নিঃসারক-ভূমি সংযোগকে সম্মুখবর্তী বায়াস এবং সংগ্রাহক ভূমি সংযোগকে বিপরীত বায়াস দিতে হবে,
- (B) উভয় সংযোগকেই সম্মুখবর্তী বায়াস দিতে হবে,
- (C) উভয় সংযোগকে বিপরীত বায়াস দিতে হবে।

[vii] অর্ধপরিবাহিতে তড়িৎ পরিবহন করে—

- (A) কেবলমাত্র ইলেকট্রন
- (B) কেবলমাত্র গর্ত
- (C) ইলেকট্রন ও গর্ত উভয়েই
- (D) ইলেকট্রন বা গর্ত কেউই নয়।

[viii] একটি অর্ধপরিবাহীর উপর তড়িৎক্ষেত্র প্রয়োগ করা হল। ধর, আধান বাহকের সংখ্যা n এবং গড় অনুপ্রবাহ (drift) বেগ v । তাপমাত্রা বৃদ্ধি করা হলে—

- (A) n এবং v উভয় বৃদ্ধি পাবে
(B) n বৃদ্ধি পাবে কিন্তু v হ্রাস পাবে
(C) n হ্রাস পাবে কিন্তু v বৃদ্ধি পাবে
(D) n এবং v উভয়ই হ্রাস পাবে।
- [ix] একটি বিশুদ্ধ পরিবাহিতে গর্তের সংখ্যা n_p এবং পরিবাহী ইলেকট্রনের সংখ্যা n_e । তাহলে—
(A) $n_p > n_e$
(B) $n_p = n_e$
(C) $n_p < n_e$
(D) $n_p \neq n_e$ ।
- [x] একটি অশুদ্ধ পরিবাহীকে গর্তের সংখ্যা n_p এবং পরিবাহী ইলেকট্রনের সংখ্যা n_e । তাহলে—
(A) $n_p > n_e$
(B) $n_p = n_e$
(C) $n_p < n_e$
(D) $n_p \neq n_e$ ।
- [xi] P-type অর্ধপরিবাহী—
(A) ধনাত্মক তড়িৎগ্রন্থ
(B) ঋণাত্মক তড়িৎগ্রন্থ
(C) নিরুদ্রিৎ
(D) 0K উষ্ণতায় নিরুদ্রিৎ কিন্তু উচ্চ তাপমাত্রায় তড়িৎগ্রন্থ।
- [xii] বিশুদ্ধ অর্ধপরিবাহিতে অপদ্রব্য 'ডোপ' করলে, অর্ধপরিবাহির পরিবাহিতা—
(A) বৃদ্ধি পায়
(B) হ্রাস পায়
(C) কিছুই হয় না
(D) পরিবাহিতা লোপ পায়।
- [xiii] সিলিকনের সঙ্গে যে অপদ্রব্য পরমাণু ডোপ করলে P-type অর্ধপরিবাহী পাওয়া যায় তাহল—
(A) ফসফরাস
(B) বোরন
(C) অ্যান্টিমনি
(D) অ্যালুমিনিয়াম।
- [xiv] জারমেনিয়াম কেলসের সাথে যে অপদ্রব্য পরমাণু ডোপ করলে N-type অর্ধপরিবাহী পাওয়া যায়, তাহলে—
(A) আর্সেনিক
(B) ইন্ডিয়াম
(C) অ্যালুমিনিয়াম
(D) সোডিয়াম।
- [xv] বিশুদ্ধ জারমেনিয়ামের পরিবাহিতা বৃদ্ধি করা যায়—
(A) উষ্ণতা বৃদ্ধি করে
(B) গ্রহিতা অপদ্রব্য ডোপ করে
(C) দাতা অপদ্রব্য ডোপ করে
(D) কেলসের উপর অভিবর্ত্তন আলো ফেলে।
- [xvi] একটি বিশুদ্ধ অর্ধপরিবাহির ক্ষেত্রে কোন উক্তিটি নির্ভুল?
(A) 0°K উষ্ণতায় এটি বিশুদ্ধ অন্তরক,
(B) আধান বাহকের সংখ্যা উষ্ণতার সাথে সূচকীয়ভাবে (exponentially) বৃদ্ধি পায়,
(C) ইলেকট্রন ঘনত্ব সর্বদা গর্তের ঘনত্ব অপেক্ষা বেশী,
(D) ইলেকট্রনের সচলতা (mobility) গর্তের তুলনায় বেশী।
- [xvii] দশমিক পদ্ধতিতে 11 সংখ্যাটিকে দ্বি-সংখ্যায় রূপান্তরিত করলে, সংখ্যাটি হবে—
(A) 1101 (B) 1011 (C) 1110 (D) 1100.
- [xviii] দ্বি-পদ্ধতিতে 11011 সংখ্যাটিকে দশমিক সংখ্যায় রূপান্তরিত করলে, সংখ্যাটি হবে—
(A) 23 (B) 24 (C) 26 (D) 27.
- [xix] নিম্নলিখিত গেটগুলির কোনটির বার বার ব্যবহার করে AND গেট তৈরি করা যায়—
(A) NOT গেট
(B) OR গেট
(C) NAND গেট
(D) NOR গেট।
- [xx] পার্শ্বে প্রদর্শিত ট্রুথটেবল নিম্নলিখিত গেটগুলির কোনটির ক্ষেত্রে প্রযোজ্য?
(A) NAND (B) AND (C) XOR (D) NOT.
- [xxi] NOR গেট গঠন করতে কি কি গেট প্রয়োজন?
(A) OR, AND (B) OR, NOT (C) NOT, AND (D) OR, NAND.
- [xxii] অর্ধপরিবাহীর পরিবাহিতা কেবলমাত্র সময়োজী গ্রন্থি (covalent bond) ছিন্ন হবার দরুন হলে, সেই অর্ধপরিবাহীকে বলা হয়
(A) দাতা (B) অশুদ্ধ (C) বিশুদ্ধ (D) গ্রহিতা।
- [xxiii] P-type অর্ধপরিবাহীতে গ্রহিতা অপদ্রব্য যে শক্তি লেভেল তৈরি করে তা
(A) সংযোজী পটির ঠিক নিম্নে
(B) পরিবাহী পটির ঠিক উপরে
(C) সংযোজী পটির ঠিক উপরে
(D) পরিবাহী পটির ঠিক নিম্নে।
- [xxiv] P-type অর্ধপরিবাহীর উদাহরণ কোনটি?
(A) বিশুদ্ধ জারমেনিয়াম
(B) বিশুদ্ধ সিলিকন
(C) আর্সেনিক ডোপ করা সিলিকন
(D) বোরন ডোপ করা সিলিকন।

A	B	Y
1	1	0
1	0	1
0	1	1
0	0	1

(B) শূন্যস্থান পূরণ করো (Fill up the blanks) :

- [i] P-N সংযোগকে _____ বায়াস দিলে সংযোগ দিয়ে তড়িৎপ্রবাহ উচ্চ রোধের সম্মুখীন হয়। এই বায়াস দেওয়া হয় সংযোগের P-অঞ্চলকে ব্যাটারির _____ প্রান্তে যুক্ত করে।
- [ii] P-N সংযোগের সম্মুখবর্তী বায়াসের বেলায় P অঞ্চলকে ব্যাটারির _____ প্রান্তে যুক্ত করতে হবে এবং প্রবাহ _____ থেকে _____ দিকে যাবে।
- [iii] ট্রানজিস্টারে _____ প্রবাহ ভূমি প্রবাহ ও _____ প্রবাহের সমষ্টি।
- [iv] P-N সংযোগে বিপরীত প্রবাহের মাত্রা সাধারণত কয়েক _____ কিন্তু সম্মুখবর্তী প্রবাহ _____ পর্যায়ে।
- [v] দ্বিক্ পদ্ধতিতে ভূমি _____ ; দশমিক পদ্ধতি ভূমি _____।
- [vi] NOT গেট ইনপুট সংকেতের প্রকৃতিকে বিপরীত প্রকৃতির আউটপুটে রূপান্তরিত করে বলে একে _____ বলে।

(C) ভুল কি নির্ভুল বিচার করো (True or false type questions) :

- [i] N-টাইপ অবিশুদ্ধ অর্ধপরিবাহীতে গড়ের সংখ্যার তুলনায় ইলেকট্রনের সংখ্যা অনেক বেশী ; আবার P-টাইপ অর্ধপরিবাহীতে এর ঠিক উল্টো।
- [ii] P-N সংযোগ ডায়োডে নিঃশেষিত স্তরে কোন গতিশীল আধান বাহকের অস্তিত্ব নেই।
- [iii] বিপরীত বায়াসে প্রবাহমাত্রা P-N সংযোগ ডায়োডে প্রযুক্ত ভোল্টেজের উপর নির্ভর করে।
- [iv] NOT গেট বর্তনীতে আউটপুট পাওয়া যায় কেবলমাত্র তখন যখন ইনপুট অনুপস্থিত।
- [v] NOR গেট তৈরি করা হয় OR গেট ও NOT গেটের সমান্তরাল সমবায়ের দ্বারা।

→ গাণিতিক প্রশ্ন

1. নিম্নলিখিত দশমিক সংখ্যাগুলিকে দ্বিক সংখ্যায় রূপান্তরিত করো :

(i) 125 (ii) 53 (iii) 36 (iv) 129

[Ans. (i) 1111101 (ii) 110101 (iii) 100100 (iv) 1000001]

2. নিম্নলিখিত দ্বিক সংখ্যাগুলির তুল্য দশমিক সংখ্যা নির্ণয় করো :

(i) 111 (ii) 11011 (iii) 1001 (iv) [Ans. (i) 7 (ii) 27 (iii) 9]

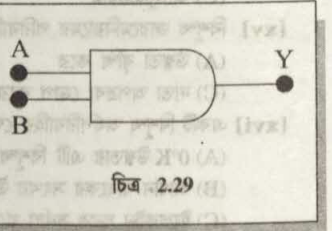
3. 2.29 নং চিত্রে যে লজিক গেটের প্রতীক চিহ্ন দেখানো হয়েছে তার নাম উল্লেখ করো।

[Ans. AND]

4. নিম্নলিখিত উক্তিগুলি ব্যাখ্যা করো :

(a) যদি $A = 1, B = 1, C = 1$ তবে $Y = 1 + 1 + 1 = 1$

(b) যদি $A = 1, B = 1, C = 0$ তবে $Y = 1.1.0 = 0$



[Ans. (i) OR গেট (ii) AND গেট]

□ M.C.Q. প্রশ্নের উত্তর □

(A)

(i) D

(v) D

(ix) B

(xiii) B,D

(xvii) A

(xxi) B

(ii) A

(vi) A

(x) D

(xiv) A

(xviii) D

(xxii) C

(iii) A

(vii) C

(xi) C

(xv) A,B,C,D

(xix) C,D

(xxiii) B

(iv) C

(viii) B

(xii) A

(xvi) A,B

(xx) A

(xxiv) D

(B) [i] বিপরীত, [ii] নেগেটিভ, [iii] পজিটিভ, P-প্রান্ত, N-প্রান্ত ; [iii] নিঃসারক, সংগ্রাহক ; [iv] $\mu A, mA$; [v] 2, 10 ; [vi] ইনভারটার।

(C) [i] নির্ভুল, [ii] নির্ভুল, [iii] ভুল, [iv] নির্ভুল, [v] ভুল।

3

পরিচ্ছেদ



কোয়ান্টাম তত্ত্ব ও আলোক তড়িৎ

[QUANTUM THEORY AND PHOTOELECTRICITY]

◆ সূচনা (Introduction) :

তাপ বিকিরণ (heat radiation) সম্পর্কিত সমস্যা সমাধানের উদ্দেশ্যে 1905 খ্রিস্টাব্দে জার্মান বিজ্ঞানী ম্যাক্স প্ল্যাঙ্ক কোয়ান্টাম তত্ত্বের অবতারণা করেন। তিনি বলেন যে, বস্তু থেকে যখন শক্তি (তাপ) নির্গত হয় তখন তা নিরবচ্ছিন্নভাবে হয় না—বিচ্ছিন্নভাবে এক একটি শক্তি প্যাকেটরূপে নির্গত হয়। এই প্যাকেটগুলির তিনি নাম দেন ‘কোয়ান্টা’ (quanta)। এই কোয়ান্টাগুলির শক্তি সব সমান নয়; প্রত্যেক কোয়ান্টার শক্তি বিকিরণের কম্পাঙ্কের সমানুপাতিক। বিকিরণ সম্পর্কে প্ল্যাঙ্কের এই নতুন ধারণা (concept) সনাতন ধারণা থেকে এতই পৃথক এবং বিপ্লবাত্মক যে তখনকার বিজ্ঞানীরা প্ল্যাঙ্কের এই তত্ত্বকে স্বীকার করেননি। আইনস্টাইন সর্বপ্রথম বিজ্ঞানী যিনি এই তত্ত্বের সারবত্তা উপলব্ধি করেছিলেন। তিনি তাঁর অসামান্য প্রতিভা দ্বারা বুঝতে পেরেছিলেন যে, বিকিরণ সম্পর্কিত যেসব সমস্যা সনাতন তরঙ্গতত্ত্ব সমাধান করতে পারেনি, কোয়ান্টাম তত্ত্বের প্রয়োগে তাদের সমাধান সম্ভব। প্রকৃতপক্ষে আইনস্টাইন সর্বপ্রথম আলোকতড়িৎ (photo-electric) ঘটনাবলিতে কোয়ান্টাম তত্ত্ব প্রয়োগ করে দেখান যে তরঙ্গ-তত্ত্ব আলোকতড়িৎ সম্বন্ধে যে সকল প্রশ্নের উত্তর দিতে পারেনি কোয়ান্টাম তত্ত্ব থেকে তাদের সম্ভোষণক উত্তর পাওয়া যাবে। এখন, আমরা আলোক-তড়িৎ ক্রিয়া সম্বন্ধে আলোচনা করব।

3.1. আলোকতড়িৎের আবিষ্কার (Discovery of photoelectricity) :

কোনো ধাতব বস্তুর পৃষ্ঠে যথোপযুক্ত তরঙ্গদৈর্ঘ্যের আলো (যেমন, এক্সরশ্মি, অতি-বেগুনি রশ্মি, দৃশ্যমান আলোক রশ্মি ইত্যাদি) ফেললে দেখা যায় যে, যতক্ষণ আলো পড়ছে ততক্ষণ ঐ পৃষ্ঠ থেকে ইলেকট্রন নিঃসৃত হচ্ছে। এই ঘটনাকে বলা হয় আলোকতড়িৎ (photoelectricity)। তড়িৎচুম্বকীয় তরঙ্গের সাথে পদার্থের মিথস্ক্রিয়া (interaction) হবার ফলে যে-সকল ঘটনা ঘটে, আলোকতড়িৎ ঘটনা তাদের অন্যতম।

এই ঘটনা প্রথম লক্ষ করেন জার্মান বিজ্ঞানী হার্বস 1887 খ্রিস্টাব্দে। তিনি দুটি তড়িদ্বারের ভিতর ফুলিঙ্গ (spark) সৃষ্টি করে তড়িৎচুম্বকীয় তরঙ্গ উৎপন্ন করছিলেন। তিনি লক্ষ করেন যে, তড়িদ্বারের উপর অতি-বেগুনি আলো পড়লে সহজে দীর্ঘ ফুলিঙ্গা সৃষ্টি হয়। আলোকপাত না করলে অত সহজে ফুলিঙ্গা সৃষ্টি হয় না। তিনি, অবশ্য, এ বিষয়ে আর আগ্রসর হননি। কিন্তু পরের বছর—অর্থাৎ 1888 খ্রিস্টাব্দে হলভাক্স, এলস্টার, এবং গাইটেল—এই তিন বিজ্ঞানী এই সম্বন্ধে কিছু পরীক্ষানিরীক্ষা করেন। একটি বায়ুশূন্য কোয়ার্টজ নলে দুটি দস্তার প্লেট চুকিয়ে একটিকে ব্যাটারির পজিটিভ মেবুর সাথে এবং অপরটিকে নেগেটিভ মেবুর সাথে যুক্ত করেন এবং দেখেন যে নেগেটিভ প্লেটটিতে অতি-বেগুনি আলো ফেললে বর্তনী দিয়ে একটি তড়িৎপ্রবাহ যায় কিন্তু পজিটিভ প্লেটে আলো ফেললে ঐ রকম কোনো প্রবাহ পাওয়া যায় না। তাঁরা আরও লক্ষ করেন যে, যে-মুহূর্তে আলো পড়ে সেই মুহূর্তে প্রবাহ শুরু হয় এবং আলো বন্ধ করা মাত্র প্রবাহও বন্ধ হয়।

1900 খ্রিস্টাব্দে লেনার্ড প্রমাণ করেন যে, ধাতবপৃষ্ঠে অতি-বেগুনি আলো পড়লে, ঐ পৃষ্ঠ থেকে ইলেকট্রনের নিঃসরণ হয়ে উক্ত প্রবাহ সৃষ্টি করে। আলোর সাহায্যে তড়িৎপ্রবাহ সৃষ্টি হচ্ছে বলে এই ঘটনাকে বলা হয় আলোকতড়িৎ, ইলেকট্রনগুলিকে আলোকজ ইলেকট্রন (photo-electrons) এবং প্রবাহকে বলা হয় আলোকতড়িৎপ্রবাহ (photoelectric current)।

লিথিয়াম, সোডিয়াম, পটাশিয়াম প্রভৃতি উচ্চ ধনাত্মক তড়িৎধর্মী (electro-positive) ক্ষারধাতুগুলি আলোকতড়িৎ সম্পর্কে খুবই সংবেদনশীল। এদের ওপর সাধারণ দৃশ্যমান আলো (visible light) পড়লেই আলোকজ ইলেকট্রন নির্গত হয়। বর্তমানে দেখা গেছে যে, উপযুক্ত তরঙ্গদৈর্ঘ্যের আলো ব্যবহার করলে (গ্যামারশ্মি, এক্সরশ্মি, অথবা অতি-বেগুনি রশ্মি) সব ধাতুই আলোকতড়িৎ ঘটনা প্রদর্শন করে।

3.2.

আলোকতড়িৎ সম্পর্কে পরীক্ষামূলক পর্যালোচনা (Experimental study of photoelectricity) :

আলোকতড়িৎ সম্পর্কে পরীক্ষামূলক পর্যালোচনা করতে হলে 3.1 নং চিত্রে প্রদর্শিত ব্যবস্থা অবলম্বন করা যেতে পারে। K এবং A দুটি ধাতব প্লেট বায়ুশূন্য কোয়ার্টজ কুন্ডে ঢুকানো আছে। একটি ব্যাটারি এবং রোধকের সাহায্যে A এবং K প্লেটের ভিতর বিভবপ্রভেদ প্রয়োগ করা হয়। K প্লেট নেগেটিভ বিভব এবং A প্লেট পজিটিভ বিভব পায়। বিভব বিভাজকের সাহায্যে ঐ বিভবপ্রভেদ ইচ্ছামতো বাড়ানো-কমানো — এমনকী উল্টোমুখীও করা যায়। বর্তমানের সাথে একটি সুবেদী গ্যালভানোমিটার G যুক্ত আছে।

(i) K প্লেটে ক্ষারধাতুর প্রলেপ লাগিয়ে তার ওপর দৃশ্যমান আলো ফেললে ইলেকট্রনের নির্গমন হবে এবং ইলেকট্রনগুলি পজিটিভ বিভবযুক্ত A প্লেট দ্বারা আকর্ষিত হয়ে A-প্লেটে পৌঁছাবে। তখন গ্যালভানোমিটারে বিক্ষেপ হবে—অর্থাৎ বর্তনী দিয়ে তড়িৎপ্রবাহ যাবে। বিভবপ্রভেদ একটু একটু করে বাড়ালে প্রবাহমাত্রাও একটু একটু করে বাড়বে এবং অবশেষে প্রবাহমাত্রা স্থির মান পায়।

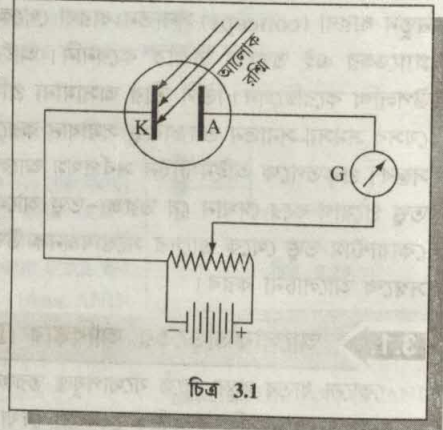
(ii) প্লেট দুটির ভিতর বিভবপ্রভেদ নির্দিষ্ট মানে স্থির রেখে যদি আপতিত আলোর তীব্রতা (intensity) বৃদ্ধি করা যায় তবে আলোকতড়িৎ প্রবাহমাত্রা বৃদ্ধি পায়; আবার তীব্রতা হ্রাস করলে প্রবাহমাত্রা হ্রাস পায়। সুতরাং বলা যায় আলোকতড়িৎ প্রবাহমাত্রা ধাতব বস্তুর ওপর আপতিত আলোর তীব্রতার সমানুপাতিক।

(iii) আবার, আপতিত আলোক তরঙ্গের কম্পাঙ্ক হ্রাস করতে থাকলে দেখা যায় যে, তীব্রতা যাই হোক না কেন, একটি নিম্নতম কম্পাঙ্কে ঐ ধাতু কোনো ইলেকট্রনই নির্গত করে না। ঐ ধাতুর বেলায় উক্ত কম্পাঙ্ককে প্রারম্ভ-কম্পাঙ্ক (threshold frequency) এবং আনুষঙ্গিক তরঙ্গদৈর্ঘ্যকে প্রারম্ভ তরঙ্গদৈর্ঘ্য (threshold wave length) বলা হয়। বিভিন্ন ধাতুর বেলায়, অবশ্য, প্রারম্ভ কম্পাঙ্কের বা প্রারম্ভ তরঙ্গদৈর্ঘ্যের মান বিভিন্ন।

(iv) আলোর তীব্রতা অপরিবর্তিত রেখে যদি আপতিত আলোর কম্পাঙ্ক ক্রমশ বৃদ্ধি করা যায়, তাহলে আলোকজ ইলেকট্রনগুলি বেশি গতিবেগ নিয়ে নির্গত হয়।

● নিবৃতি-বিভব (Stopping potential) :

যদি A প্লেটকে অল্প নেগেটিভ বিভব এবং K প্লেটকে অল্প পজিটিভ বিভব দেওয়া যায় এবং উপযুক্ত তরঙ্গদৈর্ঘ্যের আলো K প্লেটে আপতিত হয় তবে নির্গত ইলেকট্রনগুলির মধ্যে যেগুলি ধীর গতিসম্পন্ন তারা নেগেটিভ A প্লেট দ্বারা বিকর্ষিত হবে এবং A প্লেটে পৌঁছাতে পারবে না। যেগুলি দ্রুতগতি সম্পন্ন তারা



A-প্লেটে পৌঁছাবে। ফলে তড়িৎপ্রবাহ বিশেষভাবে হ্রাস পাবে। এবার A প্লেটের নেগেটিভ বিভব বৃদ্ধি করলে আলোকতড়িৎপ্রবাহ দ্রুত হ্রাস পাবে এবং A প্লেটের একটি বিশেষ নেগেটিভ বিভবে প্রবাহ শূন্য হবে। A-প্লেটের উক্ত বিভবকে ঐ ধাতুর নিবৃন্তি বিভব বলা হয়। বলা বাহুল্য, নিবৃন্তি বিভবে সর্বাপেক্ষা দ্রুতগতিসম্পন্ন ইলেকট্রনও A প্লেটে পৌঁছাতে সক্ষম হবে না। নিবৃন্তি বিভব পরিমাপ করে আলোকজ ইলেকট্রনের সর্বোচ্চ গতিবেগ বা সর্বোচ্চ গতিশক্তি পরিমাপ করা হয়।

নিবৃন্তি বিভব অথবা নির্গত আলোকজ ইলেকট্রনের গতিবেগ আপতিত আলোর তীব্রতার ওপর নির্ভর করে না।

সংজ্ঞা : ক্যাথোড প্লেটের সাপেক্ষে আনোড প্লেটে যে ন্যূনতম নেগেটিভ বিভব দিলে, আলোকতড়িৎ প্রবাহমাত্রা সদ্য বন্ধ হয়ে যায়, সেই বিভব-কে বলা হয় নিবৃন্তি বিভব।

কোনো ধাতব বস্তুর নিবৃন্তি বিভব V_s হলে, $eV_s = \frac{1}{2} mv_{max}^2$ যেখানে e = আলোকজ ইলেকট্রনের তড়িতাধান এবং v_{max} = ঐ ইলেকট্রনের সর্বাধিক গতিবেগ।

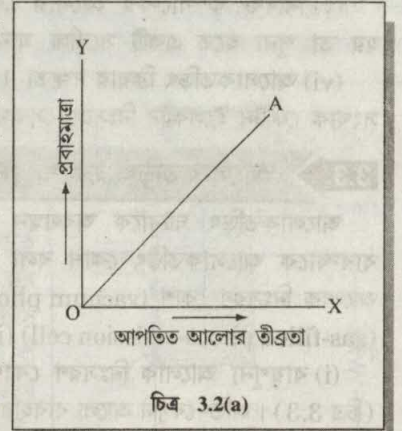
● আলোকতড়িৎ ঘটনাবলির বৈশিষ্ট্য :

উপরিউক্ত পরীক্ষা হতে আলোকতড়িৎ ঘটনার নিম্নলিখিত বৈশিষ্ট্য লক্ষ করা যায় :

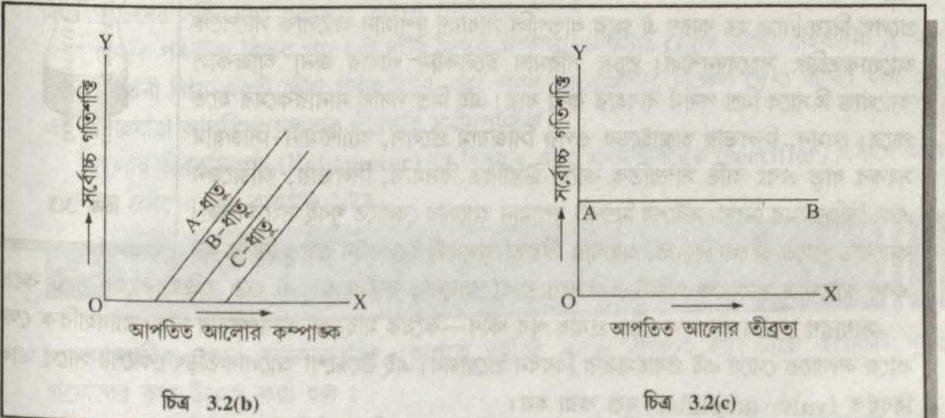
(i) আলোক-তড়িৎ প্রবাহমাত্রা আপতিত আলোর তীব্রতার সমানুপাতিক। কম্পাঙ্ক স্থির রেখে আপতিত আলোর তীব্রতা দ্বিগুণ করলে, প্রবাহমাত্রা দ্বিগুণ হবে। আলোর তীব্রতা শূন্য করলে প্রবাহমাত্রাও শূন্য হবে। তীব্রতার সাথে প্রবাহমাত্রার এই পরিবর্তন লেখচিত্রের সাহায্যে প্রকাশ করলে তা 3.2 (a) নং চিত্রের মতো মূলবিন্দু দিয়ে গত একটি সরলরেখা OA হবে।

(ii) আলোকজ ইলেকট্রনগুলির সর্বোচ্চ প্রাথমিক গতিবেগ (initial velocity) তথা সর্বোচ্চ গতিশক্তি আপতিত আলোর তীব্রতার ওপর নির্ভরশীল নয় কিন্তু

কম্পাঙ্কের ওপর নির্ভরশীল। কম্পাঙ্ক বৃদ্ধি পেলে (অথবা তরঙ্গদৈর্ঘ্য হ্রাস পেলে) ইলেকট্রনগুলির সর্বোচ্চ গতিবেগ বা গতিশক্তি বৃদ্ধি পায়, কম্পাঙ্ক কমলে (তরঙ্গদৈর্ঘ্য বৃদ্ধি পেলে) ইলেকট্রনগুলির গতিবেগ বা গতিশক্তি হ্রাস পায়।



চিত্র 3.2(a)



চিত্র 3.2(b)

চিত্র 3.2(c)

3.2 (b) নং চিত্রে লেখ'র সাহায্যে দেখানো হয়েছে যে কীভাবে সর্বোচ্চ গতিশক্তি আপতিত আলোর

কম্পাঙ্কের ওপর নির্ভর করে। 3.2 (c) নং চিত্রে লেখ'র সাহায্যে দেখানো হয়েছে যে সর্বোচ্চ গতিশক্তি আপতিত আলোর তীব্রতার ওপর নির্ভরশীল নয়। ঐ লেখ তীব্রতা-অক্ষের সমান্তরাল একটি সরলরেখা AB অর্থাৎ তীব্রতা কম-বেশি যাই হোক না কেন, নির্গত ইলেকট্রনের সর্বোচ্চ গতিশক্তি একই থাকছে।

(iii) প্রত্যেক ধাতুর বেলায় একটি নিম্নতম কম্পাঙ্ক আছে যার কম কম্পাঙ্ক বিশিষ্ট কোনো আলো ঐ ধাতু থেকে ইলেকট্রন নির্গত করতে পারে না। ঐ নিম্নতম কম্পাঙ্ক-কে ঐ ধাতুর প্রারম্ভ কম্পাঙ্ক বলে। বিভিন্ন ধাতুর বেলায় ঐ কম্পাঙ্কের মান বিভিন্ন। 3.2 (b) নং চিত্রে A, B, C ধাতু তিনটি লেখ OX অক্ষ-কে যে সকল বিন্দুতে ছেদ করে, তাই তাদের প্রারম্ভ কম্পাঙ্ক নির্দেশ করে।

(iv) আলোকতড়িৎ ঘটনা একটি তাৎক্ষণিক (instantaneous) ঘটনা অর্থাৎ, আলো পড়ার সঙ্গে সঙ্গে ইলেকট্রনের নিঃসরণ শুরু হয়। আবার, আলো বন্ধ হওয়ামাত্র নিঃসরণও বন্ধ হয়। আলোর আপতন এবং আলোকজ ইলেকট্রনের নির্গমনের ভিতর যে সময় অবকাশ দেখা যায় তাহা প্রায় 3×10^{-9} সেকেন্ড মাত্র।

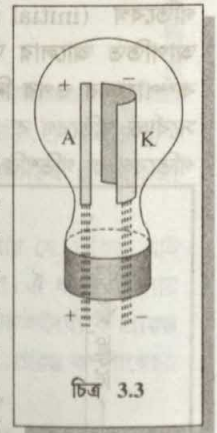
(v) নির্দিষ্ট কম্পাঙ্কের আলোর বেলায় ইলেকট্রনগুলি যে প্রাথমিক গতিবেগ নিয়ে নির্গত হয় তা শূন্য হতে একটি সর্বোচ্চ মান পর্যন্ত বিভিন্ন মান পায়।

(vi) আলোকতড়িৎ ক্রিয়ার দক্ষতা 1%-এর কম—অর্থাৎ আপতিত ফোটন সংখ্যার 1%-এর কম সংখ্যক ফোটন ইলেকট্রন নিঃসরণে সক্ষম হয়।

3.3. আলোকতড়িৎ কোশ (Photoelectric cells) :

আলোকতড়িৎ ঘটনাকে অবলম্বন করে আলোক শক্তিকে তড়িৎশক্তিতে রূপান্তরিত করার ব্যবস্থাকে আলোকতড়িৎ কোশ বলা হয়। এই কোশ নানারকম হতে পারে — যথা (i) বায়ুশূন্য আলোক নিঃসরণ কোশ (vacuum photo-emission cell) (ii) গ্যাসভর্তি আলোক নিঃসরণ কোশ (gas-filled photo-emission cell) (iii) আলোক ভোল্টীয় কোশ (photo-voltic cell) ইত্যাদি।

(i) বায়ুশূন্য আলোক নিঃসরণ কোশ : এটি কোয়ার্টজ অথবা কাচের তৈরি একটি বায়ুশূন্য বাল্ব (চিত্র 3.3)। অতি-বেগুনি আলো ব্যবহার করলে কোয়ার্টজ বাল্ব এবং দৃশ্যমান আলো ব্যবহার করলে কাচের বাল্ব ব্যবহার করা হয়। এর ভিতর বৃহৎ ক্ষেত্রফলযুক্ত অর্ধ-চোঙাকৃতি একটি প্লেট (K) থাকে। এটি কোশের ক্যাথোড। অ্যানোড হিসাবে একটি ঋজু তার অথবা তারের ফ্রেম (A) নেওয়া হয়। দৃশ্যমান আলো ব্যবহার করলে ক্যাথোড প্লেটে সোডিয়াম, পটাশিয়াম অথবা সিজিয়ামের প্রলেপ দিয়ে নিতে হয় কারণ ঐ ক্ষার ধাতুগুলি সাধারণ দৃশ্যমান আলোক সাপেক্ষে আলোকতড়িৎ সংবেদনশীল। প্রচুর পরিমাণ ইলেকট্রন পাবার জন্য আজকাল ক্যাথোড হিসাবে মিশ্র পদার্থ ব্যবহার করা যায়। এই মিশ্র পদার্থ নানারকমের হতে পারে। যেমন, সিলভার অক্সাইডের ওপর সিজিয়াম প্রলেপ, অ্যান্টিমনি-সিজিয়াম সংকর ধাতু এবং অতি সাম্প্রতিক কালে উদ্ভাবিত বিসমাথ, সিলভার, অক্সিজেন এবং সিজিয়ামের মিশ্রণ। সর্বশেষ মিশ্রণটি দৃশ্যমান আলোর বেলাতে খুবই সংবেদনশীল। ক্যাথোড পাতে আলো পড়লে, আলোর তীব্রতা অনুযায়ী ইলেকট্রন স্রোত নির্গত হয় এবং ক্যাথোড সাপেক্ষে পজিটিভ বিভবে রাখা অ্যানোড কর্তৃক আকৃষ্ট হয়ে তড়িৎপ্রবাহের সৃষ্টি করে।



সাধারণ ক্ষেত্রে আলোকতড়িৎ প্রবাহ খুব ক্ষীণ—কয়েক মাইক্রো-অ্যাম্পিয়ার মাত্র। ব্যবহারিক ক্ষেত্রে কাজে লাগাতে গেলে ঐ প্রবাহমাত্রার বিবর্ধন প্রয়োজন। এই উদ্দেশ্যে আলোকতড়িৎ কোশের সাথে ভল্ভ (valve amplifier) যুক্ত করা হয়।

(ii) গ্যাসভর্তি আলোক নিঃসরণ কোশ (Gas-filled photo-emission cell) : আলোকতড়িৎ-

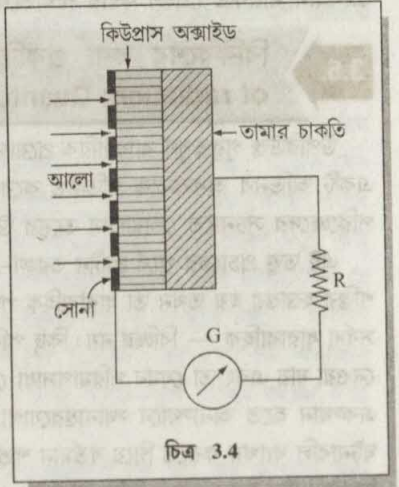
কোশ থেকে প্রাপ্ত প্রবাহমাত্রা বৃদ্ধি করার জন্য অনেক সময় গ্যাসভর্তি কোশ ব্যবহার করা হয়। এই কোশের বাল্বটি নিম্নচাপে (কয়েক মিলিমিটার পারদ) নিয়ন, আর্গন, প্রভৃতি নিষ্ক্রিয় গ্যাস দ্বারা পূর্ণ থাকে। অ্যানোড ও ক্যাথোডের ভিতর বিভবপ্রভেদ বৃদ্ধি করলে, ক্যাথোড থেকে নির্গত আলোকজ ইলেকট্রনগুলি প্রচণ্ড গতিবেগে অ্যানোডের দিকে ধাবিত হয় এবং গ্যাসের অণু-পরমাণুর সাথে সংঘাত সৃষ্টি করে আয়নয়ন (ionisation) ঘটায়। তখন অকস্মাৎ প্রচুর পরিমাণ ইলেকট্রন তৈরি হয় এবং প্রবাহমাত্রাও যথেষ্ট বৃদ্ধি পায়।

বায়ুশূন্য কোশ হতে প্রাপ্ত আলোকতড়িৎ-প্রবাহমাত্রা আপতিত আলোর তীব্রতার সাথে ঠিক সমানুপাতিক কিন্তু গ্যাসভর্তি কোশ হতে প্রাপ্ত প্রবাহমাত্রা ঠিক ঐরূপ সমানুপাতিক সম্পর্ক মেনে চলে না কারণ ঐ প্রবাহের সব ইলেকট্রনগুলিই আলোকজ ইলেকট্রন নয়। এই কারণে প্রমিতকরণ (standardisation) বা পরিমাপমূলক কাজে বায়ুশূন্য কোশ ব্যবহৃত হয় এবং অন্যান্য কাজে গ্যাসভর্তি কোশ ব্যবহার করা হয়।

(iii) আলোক ভোল্টীয় কোশ (Photo-voltaic cell) : আলোক নিঃসরণ কোশের বেলায় অ্যানোড এবং ক্যাথোডের ভিতর একটি বিভবপ্রভেদ প্রয়োগ করতে হয় কারণ ঐ বিভবপ্রভেদই ইলেকট্রনকে অ্যানোডের দিকে চালিত করে। বর্তনীতে তখন প্রবাহ চালু হয়। বিভবপ্রভেদ প্রয়োগ করার জন্য ঐ কোশের সাথে একটি ব্যাটারি যুক্ত করতে হয়। কিন্তু আলোক-ভোল্টীয় কোশে ঐ ধরনের কোনো সহায়ক ব্যাটারির প্রয়োজন হয় না। ধাতবপৃষ্ঠ হতে মুক্ত আলোকজ ইলেকট্রনগুলিই এক্ষেত্রে দুই প্লেটের ভিতর বিভবপ্রভেদ সৃষ্টি করে এবং ঐ বিভবপ্রভেদ বহির্বর্তনীতে প্রবাহ পাঠায়।

এই কোশ গঠিত হয় তামার একখানি চাকতির একপৃষ্ঠে জারক পদ্ধতিতে কিউপ্রাস অক্সাইডের একটি পাতলা স্তর (film) গঠন করে (চিত্র 3.4)। চাকতির যে পৃষ্ঠে কিউপ্রাস অক্সাইড স্তর আছে তার ওপর আবার খুব পাতলা সোনা বা রূপার প্রলেপ থাকে। আলো ঐ পাতলা প্রলেপ ভেদ করে অক্সাইড স্তরের ওপর পড়লে, ঐ স্তর হতে আলোকজ ইলেকট্রন নির্গত হয়। কিন্তু এই ইলেকট্রনগুলি চতুষ্পার্শ্বস্থ বায়ু মাধ্যমে নির্গত হয় না — এরা সোনা বা রূপার প্রলেপের দিকে চলে আসে। ফলে, ঐ প্রলেপ ও তামার চাকতির ভিতর একটি বিভবপ্রভেদের সৃষ্টি হয়। এক্ষেত্রে প্রলেপ নেগেটিভ বিভব এবং চাকতি পজিটিভ বিভব পায়। ঐ দুটির ভিতর গ্যালভ্যানোমিটার G সহ একটি বহির্বর্তনী R অন্তর্ভুক্ত করলে বর্তনী দিয়ে একটি ক্ষীণ প্রবাহ যাবে এবং গ্যালভ্যানোমিটারে বিক্ষেপ দেখা যাবে। বলা বাহুল্য, এই প্রবাহমাত্রা আপতিত আলোর তীব্রতার সমানুপাতিক।

আলোর তীব্রতামাপক (lightmeter) যন্ত্র হিসাবে এবং একমুখীকারক (rectifier) হিসাবে আলোক ভোল্টীয় কোশের খুব ব্যবহার আছে।



চিত্র 3.4

3.4. আলোকতড়িৎ কোশের ব্যবহারিক প্রয়োগ (Practical applications of photoelectric cells) :

ব্যবহারিক ক্ষেত্রে আলোকতড়িৎ কোশকে বহুবিধ কাজে লাগানো হয়। নিম্নে কয়েকটি গুরুত্বপূর্ণ প্রয়োগের কথা উল্লেখ করা হল :

(ক) ফটোমেট্রি সম্পর্কিত পরিমাপে (Photometric measurement) : সরাসরি দীপনশক্তি (luminous intensity) পরিমাপে অথবা দুটি আলোক-উৎসের দীপনশক্তির তুলনামূলক বিচারে এই

কোশ প্রযুক্ত হয়। তখন একে বলা হয় প্রত্যক্ষ পঠন (direct reading) ফটোমিটার।

(খ) আলোকতড়িৎ নিয়ন্ত্রকরূপে (Photo-electric control) : আলোকতড়িৎ কোশ হতে প্রাপ্ত তড়িৎপ্রবাহের সাহায্যে একটি রিলে-কে (realy) কাজ করিয়ে বহু রকম নিয়ন্ত্রণমূলক কার্য সম্পন্ন করা যেতে পারে। যেমন, স্বয়ংক্রিয় গণক যন্ত্র, তরঙ্গসতর্কতামূলক যন্ত্র বা অগ্নিসংকেত যন্ত্র, স্বয়ংক্রিয়ভাবে বাতি জ্বালানো বা নিভানো, কুয়াশাচ্ছন্ন দিনে ট্রেনের স্বয়ংক্রিয় সংকেত-আলো প্রভৃতি নিয়ন্ত্রণে এই কোশ ব্যবহৃত হয়।

(গ) সৌর ব্যাটারিতে : আলোকতড়িৎ কোশে সূর্যের আলো ফেলে যে তড়িৎপ্রবাহ পাওয়া যায় সেই ব্যবস্থাকে সৌর ব্যাটারি বলে। কৃত্রিম উপগ্রহে ও মহাকাশযানে এই ধরনের ব্যাটারির ব্যবহার আছে। এই উদ্দেশ্যে সিলিকন নির্মিত আলোকবিভব কোশ (photo-voltaic cell) ব্যবহৃত হয়।

(ঘ) সবাক চলচ্চিত্রে (Talking films) : সবাক চলচ্চিত্রে শব্দগ্রহণ ও পুনরুৎপাদনের কাজে আজকাল আলোকতড়িৎ কোশ ব্যবহৃত হচ্ছে।

(ঙ) দূরদর্শনে (Television) : দূরদর্শন প্রেরক যন্ত্রে — অর্থাৎ আইকনোস্কোপে — আলোকতড়িৎ কোশ ব্যবহার করা হয়।

(চ) বেলিনোগ্রাম পদ্ধতিতে (Belinogram) : অতি অল্প সময়ে এক দেশ থেকে অন্য দেশে ছবি টেলিগ্রাম মারফত প্রেরণ করার পদ্ধতিকে বেলিনোগ্রাম বলে। এতে আলোকতড়িৎ কোশ ব্যবহৃত হয়।

3.5. বিকিরণের কণা প্রকৃতি : কোয়ান্টাম তত্ত্ব (Particle nature of radiation; Quantum theory) :

উপরিউক্ত গুরুত্বপূর্ণ ব্যবহারিক প্রয়োগ ছাড়া আলোকতড়িৎ সম্পর্কিত ঘটনা আধুনিক পদার্থ বিজ্ঞানের একটি অভিনব অবদানকে প্রতিষ্ঠিত করেছে। এই অবদান হল বিকিরণ সম্পর্কিত কোয়ান্টাম তত্ত্ব। এই পরিচ্ছেদের সূচনাতে কোয়ান্টাম তত্ত্বের উল্লেখ করা হয়েছে।

এই তত্ত্ব প্রচারের পূর্বে প্রাচীন তরঙ্গ-তত্ত্ব অনুযায়ী মনে করা হত যে এক বস্তু হতে অন্য বস্তুতে যখন শক্তির হস্তান্তর হয় তখন তা ধারাবাহিক পদ্ধতি (continuous process) অনুযায়ী হয় কারণ তরঙ্গগতি সর্বদা ধারাবাহিক — বিচ্ছিন্ন নয়। কিছু পরিমাণ তরলকে যেমন ধারাবাহিকভাবে একস্থান হতে অন্যস্থানে নেওয়া যায় এবং তা যেমন পরিমাপসাধ্য তেমনি নির্দিষ্ট পরিমাণ শক্তিও পরিমাপসাধ্য এবং ধারাবাহিকভাবে একস্থান হতে অন্যস্থানে স্থানান্তরযোগ্য। কিন্তু একটি উত্তপ্ত কঠিন বস্তু হতে তাপ বিকিরণ সম্পর্কিত ঘটনাবলি ব্যাখ্যা করতে গিয়ে বর্তমান শতাব্দীর প্রথমভাগে জার্মান বিজ্ঞানী ম্যাক্স প্ল্যাঙ্ক একটি অসাধারণ সিদ্ধান্তে উপনীত হলেন। তিনি দেখলেন যে বস্তু হতে যখন শক্তি নির্গত হয় তখন তা নিরবচ্ছিন্ন ভাবে হয় না — বিচ্ছিন্নভাবে এক একটি প্যাকেটরূপে নির্গত হয়। এই প্যাকেটগুলির তিনি নাম দেন ‘কোয়ান্টা’। এই কোয়ান্টাগুলির শক্তি সব সমান নয়—প্রত্যেক কোয়ান্টায় যে পরিমাণ শক্তি থাকে তা বিকিরণের কম্পাঙ্কের সমানুপাতিক।

কোনো উত্তপ্ত বস্তু হতে বিকীর্ণ শক্তির (তাপ) কম্পাঙ্ক যদি ν হয় তবে ঐ বিকিরণের প্রত্যেক কোয়ান্টাতে যে পরিমাণ শক্তি থাকবে তা $h\nu$ -এর সমান। এক্ষেত্রে h একটি ধ্রুবক। একে বলা হয় প্ল্যাঙ্ক ধ্রুবক (Planck's constant)। এর মান 6.62×10^{-34} joule-second; বিকিরণের শক্তি E এবং কম্পাঙ্ক ν হলে, $E = h\nu$ ।

● আলোকতড়িৎ ক্রিয়ার ব্যাখ্যায় প্রাচীন তরঙ্গ-তত্ত্বের ব্যর্থতা (Failure of classical wave theory in explaining photoelectric phenomena) :

আলোকতড়িৎ ক্রিয়া আবিষ্কারের পর বিজ্ঞানীরা আলোর প্রাচীন তরঙ্গতত্ত্বের সাহায্যে তার বৈশিষ্ট্যগুলির (3.2 অনুচ্ছেদ উল্লিখিত) ব্যাখ্যা করতে গিয়ে বিফল হন।

(i) তরঙ্গতত্ত্ব অনুযায়ী আলোকতরঙ্গের শক্তি তার তরঙ্গমুখের (wave front) ওপর সমভাবে

বন্ধিত থাকে। এই অবস্থায় সহসা শক্তি কীভাবে ইলেকট্রনের ক্ষুদ্র প্রস্থচ্ছেদে কেন্দ্রীভূত হয় তার কোনো ব্যাখ্যা মেলে না। যেহেতু ইলেকট্রনগুলি আয়তনে অতি ক্ষুদ্র, তাই তরঙ্গমুখের অতি অল্প অংশ ইলেকট্রনের ওপর আপতিত হয়। সুতরাং ইলেকট্রনটি তরঙ্গের শক্তির অতি সামান্য অংশ এককালে সংগ্রহ করে। হিসাব করে দেখা যায় যে পরমাণু হতে বিচ্যুত হবার প্রয়োজনীয় শক্তি ইলেকট্রন যদি ঐরূপ তরঙ্গমুখ হতে সংগ্রহ করে তবে তার জন্য বেশ কিছু সময়ের প্রয়োজন—কোনো কোনো ক্ষেত্রে তা কয়েকদিনও হতে পারে। কিন্তু কার্যত আলোকপাতের সঙ্গে সঙ্গে ইলেকট্রন ধাতবপৃষ্ঠ হতে বিচ্যুত হয়।

(ii) আলোকতড়িৎ ক্রিয়ায় তরঙ্গ-তত্ত্ব প্রয়োগ করলে এই সিদ্ধান্তে আসতে হয় যে নির্গত ফোটন-ইলেকট্রনের প্রাথমিক গতিবেগ আপতিত আলোর তীব্রতার ওপর নির্ভর করা উচিত। কিন্তু কার্যত দেখা যায়, আপতিত আলোর তরঙ্গদৈর্ঘ্য (অথবা কম্পাঙ্ক) অপরিবর্তিত থাকলে, আলোর তীব্রতার হ্রাস-বৃদ্ধিতে ইলেকট্রনের প্রাথমিক গতিবেগের কোনো পরিবর্তন হয় না।

(iii) প্রতি ধাতুর বেলায় একটি প্রারম্ভ কম্পাঙ্কের অস্তিত্বও তরঙ্গ তত্ত্বের দ্বারা ব্যাখ্যা করা যায় না। উচ্চ কম্পাঙ্কের ক্ষীণ আলোকধারা ধাতব পৃষ্ঠ হতে ইলেকট্রন নিঃসরণ করে অথচ কম কম্পাঙ্কের তীব্র আলোকধারা ইলেকট্রন নিঃসরণে অক্ষম — এই ঘটনারও কোনো সদুত্তর তরঙ্গতত্ত্ব দিতে পারে না।

● কোয়ান্টাম তত্ত্বের অবতারণা (Introduction of Quantum theory) :

আলোর প্রাচীন তরঙ্গতত্ত্ব আলোকতড়িৎ ক্রিয়ার ব্যাখ্যায় অপারগ হলে, 1905 খ্রিস্টাব্দে প্রখ্যাত বিজ্ঞানী আইনস্টাইন কোয়ান্টাম তত্ত্বের শরণাপন্ন হন।

কোয়ান্টাম তত্ত্বানুযায়ী যে-কোনো বিকিরণ ঝাঁক ঝাঁক কোয়ান্টার সমষ্টি। আইনস্টাইন কোয়ান্টার সাধারণ নাম দেন ফোটন (photon); প্রতিটি ফোটনের শক্তি $h\nu$ । এরা শূন্য মাধ্যমে আলোর গতিবেগে চলাচল করে। একটি পদার্থখণ্ড যেমন অসংখ্য বিচ্ছিন্ন পরমাণু কণা দ্বারা গঠিত, আলো, তাপ প্রভৃতি যে-কোনো বিকিরণও তেমনি অসংখ্য বিচ্ছিন্ন ফোটন দ্বারা গঠিত। আইনস্টাইনের মতে যখন কোনো তড়িৎ চুম্বকীয় বিকিরণ ধাতব বস্তুর ওপর আপতিত হয় তখন বিকিরণের কিছু ফোটনের সাথে ধাতব বস্তুর কিছু পরমাণুর সংঘাত হয়। এই সংঘাতকে আইনস্টাইন স্থিতিস্থাপক সংঘাতরূপে কল্পনা করে বলেছিলেন যে এতে পরমাণু ফোটনের সকল শক্তি শোষণ করে অথবা কোনো শক্তিই শোষিত না হয়ে ফোটন পরমাণু দ্বারা প্রতিফলিত হয়। এইরূপ ধারণা নিয়ে আইনস্টাইন একটি সমীকরণ প্রতিষ্ঠা করেন (পরবর্তী অনুচ্ছেদ দ্রষ্টব্য) যার সাহায্যে তিনি আলোকতড়িৎ সম্পর্কিত সকল ঘটনার অতি সন্তোষজনক ব্যাখ্যা করেন এবং কোয়ান্টাম তত্ত্বকে সুপ্রতিষ্ঠিত করেন।

পরবর্তীকালে কিছু উপ-পারমাণবিক (sub-atomic) ঘটনাবলি আবিষ্কৃত হল যার সুষ্ঠু ব্যাখ্যার জন্য বিজ্ঞানীরা কোয়ান্টাম তত্ত্বের সাহায্য গ্রহণ করলেন। এইভাবে নানা ঘটনার ভিতর দিয়ে ম্যাক্স প্ল্যাঙ্ক প্রবর্তিত কোয়ান্টাম তত্ত্ব সাধারণভাবে সকল প্রকার বিকিরণের বেলায় প্রযুক্ত হল এবং আধুনিক বিজ্ঞানের একটি স্বীকৃত তত্ত্ব বলে গণ্য হল।

● ফোটনের ধর্মাবলি (Properties of photons) :

ফোটনের নিম্নলিখিত ধর্মাবলি আছে :

- শূন্য মাধ্যমে প্রতিটি ফোটন আলোর গতিবেগে—অর্থাৎ $3 \times 10^8 \text{ ms}^{-1}$ গতিবেগে চলাচল করে।
- প্রতিটি ফোটনের নির্দিষ্ট শক্তি ও নির্দিষ্ট রৈখিক ভরবেগ আছে।
- ফোটনের স্থির ভর (rest mass) শূন্য।
- কোনো ফোটনের শক্তি E এবং রৈখিক ভরবেগ p হলে এবং λ আলোর কম্পাঙ্ক ν এবং তরঙ্গদৈর্ঘ্য λ হলে, (ফোটন যখন আলোক তরঙ্গের মত ব্যবহার করে), $E = h\nu = h \cdot \frac{c}{\lambda}$ এবং $p = \frac{h}{\lambda} = \frac{E}{c}$

যেখানে c = ফোটন বা আলোর গতিবেগ এবং h = প্ল্যাঙ্ক ধ্রুবসংখ্যা।

ওপরের সম্পর্ক হতে বোঝা যায় যে, বিশেষ তরঙ্গদৈর্ঘ্য (λ) যুক্ত সকল প্রকার ফোটনের শক্তি ($E = hc/\lambda$) সমান এবং রৈখিক ভরবেগও ($p = h/\lambda$) সমান।

(iv) ফোটন কোনো পদার্থ কণার সঙ্গে সংঘর্ষ ঘটাতে পারে। ঐ সংঘর্ষ সর্বদা পূর্ণ স্থিতিস্থাপক সংঘর্ষ বলে বিবেচিত হয় এবং ঐ সংঘর্ষে মোট শক্তি ও মোট ভরবেগ সংরক্ষিত থাকে।

(v) কোনো বিশেষ তরঙ্গদৈর্ঘ্যের আলোর তীব্রতা বৃদ্ধির অর্থ বেশি সংখ্যক ফোটন নির্দিষ্ট সময়ে নির্দিষ্ট ক্ষেত্রফল অতিক্রম করে কিন্তু প্রত্যেকটি ফোটনের শক্তি (hc/λ) অপরিবর্তিত থাকে।

□ EXAMPLES □

১. একটি ফোটনের শক্তি 5 eV. ঐ ফোটনের তরঙ্গদৈর্ঘ্য এবং ভরবেগ কত? $1 \text{ eV} = 1.6 \times 10^{-19} \text{ joule}$; $h = 6.62 \times 10^{-34} \text{ J.s}$.

উঃ। ফোটনের শক্তি $E = 5 \text{ eV} = 5 \times 1.6 \times 10^{-19} \text{ joule} = 8 \times 10^{-19} \text{ joule}$.

$$\text{এখন, } \lambda = \frac{h \cdot c}{E} = \frac{6.62 \times 10^{-34} \times 3 \times 10^8}{8 \times 10^{-19}} = 2.48 \times 10^{-7} \text{ m} = 2480 \text{ \AA}.$$

$$\text{আবার ভরবেগ } p = \frac{E}{c} = \frac{8 \times 10^{-19}}{3 \times 10^8} = 2.66 \times 10^{-27} \text{ kg. ms}^{-1}.$$

২. 4950 \AA তরঙ্গদৈর্ঘ্যের ফোটনের শক্তি ইলেকট্রন ভোল্ট এককে নির্ণয় কর। $1 \text{ \AA} = 10^{-8} \text{ cm}$ এবং $h = 6.62 \times 10^{-27} \text{ erg.s}$. [Jt. Entrance 1981]

$$\text{উঃ। ফোটনের শক্তি } E = \frac{h \cdot c}{\lambda} = \frac{6.62 \times 10^{-27} \times 3 \times 10^{10}}{4950 \times 10^{-8}} \text{ erg.}$$

$$\text{এখন } 1 \text{ eV} = 1.6 \times 10^{-12} \text{ erg.}$$

$$\begin{aligned} \text{কাজেই, ইলেকট্রন ভোল্ট এককে ফোটনের শক্তি } E &= \frac{6.62 \times 10^{-27} \times 3 \times 10^{10}}{4950 \times 10^{-8} \times 1.6 \times 10^{-12}} \text{ eV} \\ &= 2.5 \text{ eV.} \end{aligned}$$

৩. কত তাপমাত্রায় কোনো গ্যাস অণুর গতিশক্তি 6000 \AA তরঙ্গদৈর্ঘ্যের ফোটনের শক্তির সমান হবে? দেওয়া আছে বোলজম্যান ধ্রুবক $k = 1.38 \times 10^{-23} \text{ Jdegree}^{-1}$ এবং প্ল্যাঙ্ক ধ্রুবক $h = 6.625 \times 10^{-34} \text{ J.s}$. [Jt. Entrance 1999]

$$\begin{aligned} \text{উঃ। ফোটনের শক্তি } E &= \frac{hc}{\lambda} = \frac{6.625 \times 10^{-34} \times 3 \times 10^8}{6000 \times 10^{-10}} \quad [6000 \text{ \AA} = 6000 \times 10^{-10} \text{ m}] \\ &= \frac{6.625}{2} \times 10^{-19} \text{ J.} \end{aligned}$$

$$\text{আবার, গ্যাসের গতীয় তত্ত্ব থেকে পাই, গ্যাস অণুর গতিশক্তি } E_1 = \frac{3}{2} kT$$

[k = বোলজম্যান ধ্রুবক]

$$\therefore \frac{3}{2} kT = \frac{6.625}{2} \times 10^{-19} \text{ অথবা, } \frac{3}{2} \times 1.38 \times 10^{-23} \times T = \frac{6.625}{2} \times 10^{-19}$$

$$\therefore T = \frac{6.625}{3 \times 1.38} \times 10^4 \text{ K} = 1.6 \times 10^4 \text{ K.}$$

3.6. ➤ আইনস্টাইনের সমীকরণ (Einstein's equation):

কোয়ান্টাম তত্ত্ব অনুযায়ী কোনো শক্তির বিকিরণ ঝাঁক ঝাঁক ফোটনের সমষ্টি বলে মনে করা হয় এবং প্রত্যেকটি ফোটন $h\nu$ শক্তি নিয়ে আলোকের বেগে ধাবমান হয় বলে গণ্য করা হয়।

কোনো ধাতুর ওপর আলো ফেললে, আপতিত কয়েকটি ফোটনের সঙ্গে ধাতুমধ্যস্থ কতকগুলি ইলেকট্রনের সংঘাত হয়। একটি ফোটন এবং একটি ইলেকট্রনের ভিতর এইরূপ স্থিতিস্থাপক সংঘর্ষ হলে ইলেকট্রন ফোটনের সমস্ত শক্তি শোষণ করে নেয় ধরে নিয়ে আইনস্টাইন আলোক তড়িৎ সম্পর্কে একটি সমীকরণ প্রতিষ্ঠা করেন যাকে বলা হয় **আলোকতড়িৎ সমীকরণ** (photo-electric equation)। এই সমীকরণের সাহায্যে আইনস্টাইন আলোকতড়িৎ সম্পর্কিত সকল ঘটনার সন্তোষজনক ব্যাখ্যা দিয়েছিলেন।

কোনো ধাতবপৃষ্ঠ (metal surface) হতে একটি ইলেকট্রনকে পৃষ্ঠের পজিটিভ আয়নগুলির আকর্ষণকে প্রতিহত করে মুক্ত করতে ফোটনের কিছু ন্যূনতম শক্তির প্রয়োজন; এই ন্যূনতম শক্তিকে বলা হয় ঐ ধাতুর **আলোক তড়িৎ কার্য অপেক্ষক** (photoelectric work function)। সাধারণত ϕ অক্ষর দ্বারা একে প্রকাশ করা হয়। কার্য অপেক্ষক ধাতব পদার্থের প্রকৃতির ওপর নির্ভর করে। যথেষ্ট উচ্চ কম্পাঙ্কযুক্ত আলোকতরঙ্গ যখন কোনো ধাতবপৃষ্ঠে পড়ে, তখন একটি ফোটনের শক্তি $h\nu$ থেকে খানিকটা অংশ (ϕ) ব্যয় হয় ইলেকট্রনকে ধাতবপৃষ্ঠ হতে মুক্ত করতে এবং বাকিটা ($h\nu - \phi$) মুক্ত ইলেকট্রনকে গতিশক্তি সরবরাহ করে।* কাজেই মুক্ত ইলেকট্রনের সর্বাধিক গতিশক্তি E_{max} ধরলে, আইনস্টাইনের তত্ত্বানুযায়ী,

$$E_{max} = \frac{1}{2}mv_{max}^2 = h\nu - \phi$$

এই সমীকরণকেই বলা হয় **আলোকতড়িৎ সম্পর্কিত আইনস্টাইনের সমীকরণ**। সমীকরণ থেকে জানা যায় যে শোষিত শক্তি $h\nu$ কার্য অপেক্ষক ϕ অপেক্ষা কম হলে, অর্থাৎ $h\nu < \phi$ হলে, ঐ তল থেকে কোনো ইলেকট্রন নিঃসরণ হবে না। $h\nu > \phi$ হলে একটি ফোটন একটি ইলেকট্রন নির্গত করবে এবং ঐ ইলেকট্রনের গতিশক্তি হবে শোষিত শক্তি ($h\nu$) এবং কার্য অপেক্ষক (ϕ)—এই দুটি রাশির অন্তরফলের সমান।

● আইনস্টাইনের সমীকরণ দ্বারা আলোক-তড়িৎ সম্পর্কিত বৈশিষ্ট্যগুলির ব্যাখ্যা :

পূর্বে উল্লেখ করা হয়েছে যে আলো সম্পর্কিত প্রাচীন তরঙ্গতত্ত্ব 3.2 অনুচ্ছেদে উল্লিখিত আলোক তড়িৎ ঘটনার বৈশিষ্ট্যগুলির কোনটিরই সন্তোষজনক ব্যাখ্যা করতে পারেনি। কোয়ান্টাম তত্ত্ব হতে যে সমীকরণ প্রতিষ্ঠিত হল আইনস্টাইন সেই সমীকরণের সাহায্যে পরবর্তীকালে ঐ বৈশিষ্ট্যগুলির ব্যাখ্যা দেন। এই ব্যাখ্যা নিম্নরূপ :

(i) কোনো ধাতুর বেলায় ϕ ধুবরাশি হওয়ায়, আইনস্টাইনের সমীকরণ হতে জানা যায় যে ঐ ধাতু হতে ইলেকট্রনের নির্গম গতিবেগ (v_{max}) অথবা গতিশক্তি ($\frac{1}{2}mv_{max}^2$) আপতিত আলোর কম্পাঙ্ক ν -এর সমানুপাতিক।

(ii) যদি আপতিত ফোটনের কম্পাঙ্ক ν ক্রমশ কমানো যায় তবে ফটো ইলেকট্রনের গতিবেগও ক্রমশ কমে এবং একটি ন্যূনতম কম্পাঙ্কের (ν_0) বেলায় যখন $h\nu_0 = \phi$ হয় তখন গতিবেগ শূন্য হয় এবং কোনো আলোকজ ইলেকট্রনের নির্গমন হয় না। এই অবস্থায় যতক্ষণই আলোকপাত করা যাক না কেন,

* তড়িচ্চুম্বকীয় বিকিরণ ধাতবপৃষ্ঠে আপতিত হলে বিকিরণের ফোটন সাধারণত ধাতব বস্তুর অভ্যন্তরে বেশ কিছু দূর (প্রায় 10^{-8} m) চুক যায়। ফলে ধাতব বস্তুর অভ্যন্তরে বিভিন্ন গভীরতা হতে ফটো ইলেকট্রন নির্গত হয়। তখন ধাতব বস্তুর পৃষ্ঠে (surface) আসতে গিয়ে চতুষ্পার্শ্বস্থ অণু-পরমাণুর সাথে ঐ ইলেকট্রন সংঘাত সৃষ্টি করে। এতে ফটো-ইলেকট্রনগুলির কিছু শক্তি হ্রাস হয় এবং যখন ধাতবপৃষ্ঠ হতে বায়ুতে নির্গত হয় তখন তাদের শক্তি (অথবা গতিবেগ) সর্বাধিক শক্তি (E_{max}) বা সর্বাধিক গতিবেগ (v_{max}) অপেক্ষা কিছু কম হয়। এই কারণে ধাতবপৃষ্ঠ হতে নির্গত ফটো ইলেকট্রনগুলির মধ্যে শূন্য হতে সর্বাধিক মান পর্যন্ত বিভিন্ন শক্তি-বণ্টন (energy distribution) দেখতে পাওয়া যায়। বলা বাহুল্য, ফোটনগুলি ঠিক ধাতবপৃষ্ঠে অবস্থিত পরমাণুর সাথে সংঘাত সৃষ্টি করে যে ফটো-ইলেকট্রন নির্গত করবে, সেই ইলেকট্রনগুলির শক্তি বা গতিবেগ হবে সর্বাধিক। আইনস্টাইনের সমীকরণে এই শক্তি বা গতিবেগকে E_{max} অথবা v_{max} বলা হয়েছে।

কখনই ফটো-ইলেকট্রন নির্গত হবে না। সুতরাং প্রত্যেক ধাতুর বেলায় একটি প্রারম্ভ কম্পাঙ্ক থাকবে এবং তার মান হবে $v_0 = \frac{\phi}{h}$; আনুষঙ্গিক তরঙ্গদৈর্ঘ্যকে প্রারম্ভ তরঙ্গদৈর্ঘ্য (λ_0) বলে এবং

$$\lambda_0 = \frac{c}{v_0} = \frac{ch}{\phi}.$$

এই অবস্থায় আইনস্টাইনের সমীকরণ হবে, $\frac{1}{2}mv_{max}^2 = hv - hv_0 = h(v - v_0)$ ।

প্রারম্ভ তরঙ্গদৈর্ঘ্য λ_0 এবং আপতিত আলোর তরঙ্গদৈর্ঘ্য λ হলে $\frac{1}{2}mv_{max}^2 = hc \left(\frac{1}{\lambda} - \frac{1}{\lambda_0} \right)$

$$\left[v = \frac{c}{\lambda} \text{ এবং } v_0 = \frac{c}{\lambda_0} \right]$$

(iii) আপতিত আলোর তীব্রতার ওপর নির্গত আলোকজ ইলেকট্রনের গতিবেগ নির্ভর করবে না কারণ কোয়ান্টাম তত্ত্বানুযায়ী আলোর তীব্রতাবৃদ্ধির অর্থ ফোটনের সংখ্যা বৃদ্ধি। আলোর কম্পাঙ্ক v অপরিবর্তিত থাকলে প্রতি ফোটনের শক্তি (hv) অপরিবর্তিত থাকবে এবং সেহেতু নির্গত ইলেকট্রনের প্রারম্ভিক গতিবেগ বা গতিশক্তি অপরিবর্তিত থাকবে। তবে ফোটনের সংখ্যা বৃদ্ধি পাওয়ায়, প্রতি সেকেন্ডে নির্গত ইলেকট্রনের সংখ্যা বৃদ্ধি পাবে এবং তাতে আলোক তড়িৎ প্রবাহমাত্রা বৃদ্ধি পাবে। পরীক্ষালব্ধ ফলাফলও তাই।

(iv) ফোটন এবং পরমাণুর ভিতর সংঘাত স্থিতিস্থাপক সংঘাতরূপে কল্পনা করা হয়েছে বলে শক্তির হস্তান্তর তাৎক্ষণিক হবে; অর্থাৎ সংঘাত হবার সঙ্গে সঙ্গে ইলেকট্রন ফোটনের সমস্ত শক্তি শোষণ করে ধাতুপৃষ্ঠ হতে নির্গত হবে। ফলে আলোকরশ্মির আপতন ও ইলেকট্রনের নির্গমন — এই দুইয়ের ভিতর কোনো সময়-বিলম্বন (time-lag) ঘটবে না।

□ EXAMPLES □

1. 3000°A তরঙ্গদৈর্ঘ্যের অতিবেগুনি আলো এমন একটি বস্তুর পৃষ্ঠে আপতিত হল যার কার্য অপেক্ষক 2.28 eV । ঐ পৃষ্ঠ হতে নির্গত ইলেকট্রনের গতিবেগ কত হবে? $m = 9.1 \times 10^{-31} \text{ kg}$; $h = 6.56 \times 10^{-34} \text{ J.s}$. $1 \text{ eV} = 1.61 \times 10^{-19} \text{ J}$.

উঃ। ইলেকট্রনের গতিশক্তি $\frac{1}{2}mv_{max}^2 = hv - \phi$

এক্ষেত্রে কার্য অপেক্ষক $\phi = 2.28 \text{ eV} = 2.28 \times 1.61 \times 10^{-19} \text{ J} = 3.67 \times 10^{-19} \text{ J}$.

$$v = \frac{c}{\lambda} = \frac{3 \times 10^8}{3000 \times 10^{-10}} = 10^{15} \quad [1 \text{ A}^\circ = 10^{-10} \text{ m}]$$

$$\begin{aligned} \text{কাজেই, } \frac{1}{2}mv_{max}^2 &= 6.56 \times 10^{-34} \times 10^{15} - 3.67 \times 10^{-19} \\ &= (6.56 - 3.67) \times 10^{-19} \text{ joule.} \\ &= 2.89 \times 10^{-19} \text{ joule.} \end{aligned}$$

$$\therefore v_{max}^2 = \frac{2 \times 2.89 \times 10^{-19}}{9.1 \times 10^{-31}} = 64 \times 10^{10} \text{ (প্রায়).}$$

$$\text{or, } v_{max} = 8 \times 10^5 \text{ ms}^{-1} \text{ (প্রায়).}$$

2. যে সর্বোচ্চ তরঙ্গদৈর্ঘ্যের আলোকতরঙ্গ লিথিয়াম থেকে আলোকজ ইলেকট্রন

নিঃসরণ করতে পারে তার মান হিসাব করো। লিথিয়ামের কার্য অপেক্ষক = 2.5 eV এবং প্রাচ্য ধ্রুবক = 6.6×10^{-34} Js. [1 eV = 1.6×10^{-19} J] [Jt. Entrance 2004]

উঃ। সর্বোচ্চ তরঙ্গদৈর্ঘ্য হল প্রারম্ভ তরঙ্গদৈর্ঘ্য (λ_0)। আমরা জানি, $\lambda_0 = \frac{h \cdot c}{\phi}$ যেখানে ϕ = কার্য অপেক্ষক।

বর্তমান ক্ষেত্রে $h = 6.6 \times 10^{-34}$ Js.; $c = 3 \times 10^8$ ms⁻¹. এবং $\phi = 2.5$ eV = $2.5 \times 1.6 \times 10^{-19}$ J.

$$\text{মানগুলি উপরোক্ত সমীকরণে বসালে পাই } \lambda_0 = \frac{6.6 \times 10^{-34} \times 3 \times 10^8}{2.5 \times 1.6 \times 10^{-19}} = 4.95 \times 10^{-7} \text{ m.}$$

3. কোনো আলোক উৎস হতে সোডিয়াম ধাতুর ওপর আলো আপতিত হলে নিঃসৃত ইলেকট্রনের সর্বোচ্চ গতিশক্তি হয় 0.73 eV। সোডিয়ামের কার্য অপেক্ষক 1.82 eV হলে আপতিত ফোটনের শক্তি eV-এককে কত? আপতিত আলোর তরঙ্গদৈর্ঘ্য নির্ণয় করো।

উঃ। আইনস্টাইনের সমীকরণ হতে পাই, E_{\max} = ফোটনের শক্তি - ϕ [ϕ = কার্য অপেক্ষক]
 $\therefore 0.73 = \text{ফোটনের শক্তি} - 1.82$

অথবা, ফোটনের শক্তি $E = 1.82 + 0.73 = 2.55$ eV.

আবার ফোটনের তরঙ্গদৈর্ঘ্য λ হলে ফোটনের শক্তি $E = h \cdot \frac{c}{\lambda}$

এখানে $E = 2.55$ eV = $2.55 \times 1.6 \times 10^{-19}$ joule; $h = 6.62 \times 10^{-34}$ J-s; $c = 3 \times 10^8$ ms⁻¹. এই মানগুলি বসাইলে পাই,

$$2.55 \times 1.6 \times 10^{-19} = \frac{6.62 \times 10^{-34} \times 3 \times 10^8}{\lambda}$$

$$\therefore \lambda = \frac{6.62 \times 10^{-34} \times 3 \times 10^8}{2.55 \times 1.6 \times 10^{-19}} \text{ m} = 4.87 \times 10^{-7} \text{ m.}$$

4. 6000 Å তরঙ্গদৈর্ঘ্যের আলোকরশ্মি একটি ধাতুর ওপর পড়ল। একটি ইলেকট্রনকে ধাতু হতে নির্গত করতে 1.77 eV শক্তি প্রয়োজন হয়। সর্বাপেক্ষা দ্রুতগতির ইলেকট্রনের গতিশক্তি নির্ণয় করো। ধাতুর সূচনা কম্পাঙ্ক কত? [$h = 6.62 \times 10^{-27}$ erg-s; 1 eV = 1.6×10^{-12} erg]

উঃ। ধাতুর কার্য-অপেক্ষক $\phi = 1.77$ eV = $1.77 \times 1.6 \times 10^{-12}$ erg = 2.83×10^{-12} erg

$$\text{আপতিত আলো শক্তি} = \frac{h \cdot c}{\lambda} = \frac{6.62 \times 10^{-27} \times 3 \times 10^{10}}{6000 \times 10^{-8}} \text{ erg} = 3.31 \times 10^{-12} \text{ erg}$$

$$\therefore \text{ইলেকট্রনের গতিশক্তি } E = \frac{h \cdot c}{\lambda} - \phi = (3.31 - 2.83) \times 10^{-12} \text{ erg} = 0.48 \times 10^{-12} \text{ erg}$$

$$= \frac{0.48 \times 10^{-12}}{1.6 \times 10^{-12}} \text{ eV} = 0.3 \text{ eV (প্রায়)}.$$

$$\text{আবার, সূচনা কম্পাঙ্ক } \nu_0 = \frac{\phi}{h} = \frac{2.83 \times 10^{-12}}{6.62 \times 10^{-27}} = 4.3 \times 10^{14} \text{ Hz (প্রায়)}.$$

৫. একটি ধাতব পাতকে (প্রারম্ভ কম্পাঙ্ক $= 1.5 \times 10^{15}$) 32×10^{-9} কুলম্ব নেগেটিভ তড়িতাধান দেওয়া হল। পাতকে সম্পূর্ণ তড়িৎবিহীন করতে তার ওপর অতিবেগুনি রশ্মির কটি ফোটন ফেলতে হবে? এই তড়িৎবিহীনকরণে ন্যূনতম কত শক্তি ধাতবপাত কর্তৃক শোষিত হবে? $e = 1.6 \times 10^{-19}$ কুলম্ব এবং $h = 6.625 \times 10^{-34}$ J.s.

উঃ। আমরা জানি, ধাতবপৃষ্ঠ একটি ফোটন শোষণ করলে, পৃষ্ঠ হতে একটি ইলেকট্রন 1.6×10^{-19} কুলম্ব তড়িতাধান নিয়ে নির্গত হয়। কাজেই, ধাতবপাতের 32×10^{-9} কুলম্ব অতিরিক্ত নেগেটিভ আধান

সরিয়ে নিয়ে পাতকে তড়িৎবিহীন করতে যে-সংখ্যক ফোটন প্রয়োজন, তা $= \frac{32 \times 10^{-19}}{1.6 \times 10^{-19}} = 2 \times 10^{11}$;

একটি ইলেকট্রন নির্গত করতে একটি ফোটনের ন্যূনতম শক্তি $= h\nu_{\min} = 6.625 \times 10^{-34} \times 1.5 \times 10^{15}$ erg $= 9.94 \times 10^{-19}$ joule.

∴ প্রয়োজনীয় ন্যূনতম শক্তি $= 9.94 \times 10^{-19} \times 2 \times 10^{11} = 1.98 \times 10^{-7}$ joule.

৬. কোনো ধাতুর আলোক তড়িৎ প্রারম্ভ তরঙ্গদৈর্ঘ্য 3000 Å ; ঐ ধাতুপৃষ্ঠে 1000 Å তরঙ্গদৈর্ঘ্যের আলো পড়লে যে ইলেকট্রন নির্গত হবে, তার শক্তি কত? $h = 6.56 \times 10^{-34}$ J. s.; $1 \text{ eV} = 1.61 \times 10^{-19}$ joule.

উঃ। প্রারম্ভ তরঙ্গদৈর্ঘ্য λ_0 হলে, ইলেকট্রনের শক্তি $E = hc \left(\frac{1}{\lambda} - \frac{1}{\lambda_0} \right)$

এখন, $c = 3 \times 10^8 \text{ ms}^{-1}$; $\lambda = 1000 \times 10^{-10} = 10^{-7} \text{ m}$; $\lambda_0 = 3000 \times 10^{-10} = 3 \times 10^{-7} \text{ m}$.

কাজেই, $E = 6.56 \times 10^{-34} \times 3 \times 10^8 \left(\frac{1}{10^{-7}} - \frac{1}{3 \times 10^{-7}} \right)$

$$= 6.56 \times 10^{-34} \times 3 \times 10^8 \times 10^7 \times \left(\frac{1}{1} - \frac{1}{3} \right)$$

$$= 6.56 \times 10^{-34} \times 3 \times 10^8 \times 10^7 \times \frac{2}{3}$$

$$= 13.1 \times 10^{-19} \text{ joule.}$$

$$= \frac{13.1 \times 10^{-19}}{1.61 \times 10^{-19}} \text{ eV} = 8.1 \text{ eV (প্রায়).}$$

৭. সিজিয়ামের আলোকতড়িৎ কার্য অপেক্ষক 1.9 eV । $4.5 \times 10^{-5} \text{ cm}$ তরঙ্গদৈর্ঘ্যের আলো সিজিয়ামের ওপর পড়লে, (i) মুক্ত ইলেকট্রনের সর্বাধিক শক্তি এবং (ii) সিজিয়ামের প্রারম্ভ তরঙ্গদৈর্ঘ্য নির্ধারণ করো। $1 \text{ eV} = 1.6 \times 10^{-12} \text{ erg}$ এবং $h = 6.56 \times 10^{-27} \text{ erg-s}$.

উঃ। আইনস্টাইনের সমীকরণ অনুযায়ী, $E_{\max} = h\nu - \phi$

$$\text{এখানে, } \nu = \frac{c}{\lambda} = \frac{3 \times 10^{10}}{4.5 \times 10^{-5}} = 66 \times 10^{13} \text{ এবং } \phi = 1.9 \times 1.6 \times 10^{-12} \text{ erg}$$

অতএব, (i) $E_{\max} = 6.56 \times 10^{-27} \times 66 \times 10^{13} - 1.9 \times 1.6 \times 10^{-12} \text{ erg}$

$$= (4.32 \times 10^{-12} - 3.04 \times 10^{-12}) \text{ erg}$$

$$= 1.28 \times 10^{-12} \text{ erg} = \frac{1.28 \times 10^{-12}}{1.6 \times 10^{-12}} \text{ eV} = 0.8 \text{ eV.}$$

$$(ii) \text{ প্রারম্ভ তরঙ্গদৈর্ঘ্য } \lambda_0 = \frac{c}{\nu_0} = \frac{c \cdot h}{\phi} = \frac{3 \times 10^{10} \times 6.56 \times 10^{-27}}{1.9 \times 1.6 \times 10^{-12}} \text{ cm}$$

$$= 6.4736 \times 10^{-5} \text{ cm} = 6473 \text{ \AA}^\circ (\text{প্রায়})।$$

[দ্রঃ c.g.s. পদ্ধতিতে অঙ্কটি করা হল।]

৪. যখন একটি ধাতবপৃষ্ঠকে 4950 \AA° তরঙ্গদৈর্ঘ্য বিশিষ্ট আলো দ্বারা উদ্ভাসিত করা হয় তখন যে তড়িৎপ্রবাহ পাওয়া যায় তা 0.6 volt -এর সামান্য কিছু বেশি নিবৃতি বিভব দ্বারা সম্পূর্ণরূপে বন্ধ করা যায়। অন্য একটি আলোক উৎস ব্যবহার করে দেখা যায় যে নিবৃতি বিভব পরিবর্তন করে 1.1 volt করতে হল। ঐ পৃষ্ঠের কার্য-অপেক্ষক এবং দ্বিতীয় আলোক উৎসের তরঙ্গদৈর্ঘ্য নির্ণয় করো। পৃষ্ঠ হতে নির্গত হবার পর যদি আলোকতড়িৎ ইলেকট্রনগুলিকে 10 tesla মানের চৌম্বক-ক্ষেত্রের ভিতর দিয়ে পাঠানো হয় তবে উপরোক্ত দুই ক্ষেত্রে নিবৃতি বিভবের কী পরিবর্তন হবে?

উঃ। আমরা জানি, $h\nu_1 = mv_{\max}^2 + \phi$ [ϕ = ধাতব পৃষ্ঠের কার্য-অপেক্ষক]

কিন্তু নিবৃতি বিভব V_s হলে, $\frac{1}{2}mv_{\max}^2 = e \cdot V_s$. $\therefore h\nu_1 = e \cdot V_s + \phi$

$$\text{অথবা, } \phi = \frac{h \cdot c}{\lambda_1} - e \cdot V_s \quad \left[\nu_1 = \frac{c}{\lambda_1} \right]$$

$$= \frac{(6.6 \times 10^{-34}) \times (3 \times 10^8)}{4950 \times 10^{-10}} - (1.6 \times 10^{-19}) (0.6)$$

$$= 3.04 \times 10^{-19} \text{ joule} = 1.9 \text{ eV} \quad [1 \text{ eV} = 1.6 \times 10^{-19} \text{ J}]$$

দ্বিতীয় ক্ষেত্রে, $h\nu_2 = eV_s + \phi$

$$\text{অথবা, } \frac{h \cdot c}{\lambda_2} = e \cdot V_s + \phi$$

$$" \quad \frac{h \cdot c}{\lambda_2} = (1.6 \times 10^{-19}) \times (1.1) + 3.04 \times 10^{-19} = 4.8 \times 10^{-19}$$

$$\therefore \lambda_2 = \frac{h \cdot c}{4.8 \times 10^{-19}} = \frac{(6.6 \times 10^{-34}) \times (3 \times 10^8)}{4.8 \times 10^{-19}} = 4.125 \times 10^{-7} \text{ m} = 4125 \text{ \AA}^\circ$$

চৌম্বক ক্ষেত্রের ভিতর দিয়ে গেলে, আলোকতড়িৎ ইলেকট্রনগুলির গতিবেগের কোনো পরিবর্তন হয় না বলে নিবৃতি বিভবেরও কোনো পরিবর্তন হবে না।

৯. সিজিয়াম ধাতুর প্লেটের ওপর 1 mW ক্ষমতা সম্পন্ন এবং 4560 \AA° তরঙ্গদৈর্ঘ্যের আলো আপতিত হল। আপতিত আলোর আলোকতড়িৎ কর্মদক্ষতা 5% হলে, আলোকতড়িৎ প্রবাহমাত্রা নির্ণয় করো। সিজিয়ামের কার্য অপেক্ষক = 1.93 eV ; গ্রাফিক ধ্রুবক = $6.2 \times 10^{-34} \text{ J-s}$; $e = 1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$.

$$\text{উঃ। প্রত্যেক ফোটনের শক্তি } h \cdot \nu = h \cdot \frac{c}{\lambda} = \frac{(6.6 \times 10^{-34}) \times (3 \times 10^8)}{4560 \times 10^{-10}} = 4.35 \times 10^{-19} \text{ J}$$

$$1 \text{ milli-watt } (10^{-3} \text{ J/s}) \text{ ক্ষমতায়ুক্ত উৎসে ফোটন সংখ্যা } n = \frac{10^{-3}}{4.35 \times 10^{-19}} = 2.29 \times 10^{15}$$

$$\text{কর্মদক্ষতা } 0.5\% \text{ হওয়ায় নির্গত ইলেকট্রন সংখ্যা } (n_1) = 2.29 \times 10^{15} \times \frac{0.5}{100}$$

$$= 1.145 \times 10^{13} \text{ প্রতি সেকেন্ডে।}$$

$$\begin{aligned}
 \text{অতএব, আলোক-তড়িৎ প্রবাহমাত্রা } i &= n_1 \times e \\
 &= 1.145 \times 10^{13} \times 1.6 \times 10^{-19} \\
 &= 1.832 \times 10^{-6} \text{ A.} \\
 &= 1.832 \mu \text{ A.}
 \end{aligned}$$

৯. V_s নিবৃত্তি বিভব হলে দেখাও যে $V_s - v$ লেখচিত্রের নতি এবং ইলেকট্রনের তড়িতাধানের (e) গুণফল প্ল্যাঙ্ক ধ্রুবক h -এর সমান।

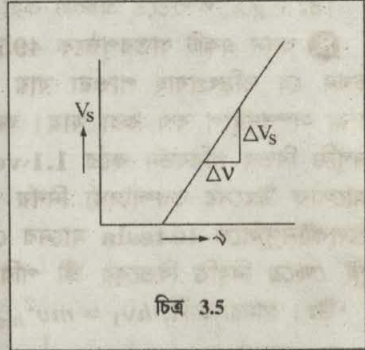
$$\text{উঃ। আমরা জানি, } \frac{1}{2} m v_{\max}^2 = h\nu - \phi$$

$$\text{কিন্তু } \frac{1}{2} m v_{\max}^2 = eV_s = h\nu - \phi \dots (i)$$

V_s এবং v এর ভিতর লেখ একটি সরলরেখা [চিত্র 3.5]।

ধর, কম্পাঙ্ক সামান্য Δv বাড়লে, নিবৃত্তি বিভব ΔV_s বাড়ে। তাহলে, $e(V_s + \Delta V_s) = h(v + \Delta v) - \phi$ (ii)

(ii) নং থেকে (i) নং বিয়োগ করলে, $e \cdot \Delta V_s = h \cdot \Delta v$ অথবা, $e \cdot \frac{\Delta V_s}{\Delta v} = h$. কিন্তু, $\frac{\Delta V_s}{\Delta v} = (V_s - v)$ লেখচিত্রের নতি। $\therefore e \times \text{নতি} = h$.



চিত্র 3.5

3.7. বস্তু কণিকার দ্বৈত সত্ত্বা (Dual nature of material particle)

ব্যতিচার, অপবর্তন (diffraction) প্রভৃতি আলোকীয় ঘটনা থেকে আমরা আলোর তরঙ্গারূপের পরিচয় পাই। আলোর সমবর্তন (polarisation) আলোর তির্যক তরঙ্গারূপ প্রকাশ করে। এই সকল ঘটনা থেকে বিজ্ঞানীদের মনে আলোর তরঙ্গারূপ সম্বন্ধে দৃঢ় প্রত্যয় জন্মে। হাইগেন্স, ফ্রেনেল প্রমুখ বিজ্ঞানীদের প্রচেষ্টায় আলোর তরঙ্গতত্ত্ব (wave theory of light) উপরোক্ত ঘটনাবলির সুচারু ব্যাখ্যা করে আলোর তরঙ্গ তত্ত্বকে সুপ্রতিষ্ঠিত করেছিলেন।

পরবর্তীকালে আলোকতড়িৎ ক্রিয়া, কম্পটন ক্রিয়া, রমন ক্রিয়া প্রভৃতি ঘটনাবলি আবিষ্কৃত হওয়ায় আলোর তরঙ্গতত্ত্ব সম্বন্ধে সন্দেহের উদ্রেক হয় কারণ তরঙ্গতত্ত্ব ঐ সকল ঘটনার কোনো সন্তোষজনক ব্যাখ্যা দিতে পারেনি।

জার্মান বিজ্ঞানী ম্যাক্স প্ল্যাঙ্ক প্রবর্তিত কোয়ান্টাম তত্ত্ব প্রয়োগ করে আইনস্টাইন দেখান যে আলোক প্রবাহকে ঝাঁক ঝাঁক কোয়ান্টা বা ফোটন (photon) -এর সমষ্টি মনে করলে উপরোক্ত নবাবিস্কৃত ঘটনাবলির সুন্দর ব্যাখ্যা পাওয়া যায়। কম্পটন ক্রিয়ার ব্যাখ্যা থেকে আলোক ফোটনের ভরবেগের (p) যে রাশিমালা পাওয়া যায় তা হল : $p = \frac{h \cdot v}{c} = \frac{h}{\lambda}$

যেখানে h = প্ল্যাঙ্ক ধ্রুব সংখ্যা এবং λ = আলোর তরঙ্গদৈর্ঘ্য।

ভরবেগ নিঃসন্দেহে পদার্থ কণিকার একটি গতিয় ধর্ম ; গতি না থাকলে ভরবেগ থাকে না। সুতরাং কম্পটন ক্রিয়া থেকে আমরা জানতে পারি যে আলোর কণিকা সত্ত্বা বর্তমান। এইরূপ আলোকতড়িৎ ক্রিয়া, রমন ক্রিয়া প্রভৃতি ঘটনাও আলোর কণিকারূপ প্রকাশ করে। কিন্তু ব্যতিচার, অপবর্তন প্রভৃতি ঘটনার ব্যাখ্যায় একমাত্র আলোর তরঙ্গ তত্ত্বই সফল। প্রকৃতপক্ষে একস্থান থেকে অন্য স্থানে আলোর বিস্তার (propagation) লাভের সময় আলো তরঙ্গারূপে আচরণ করে; আবার বস্তুর সঙ্গে আলোকের ক্রিয়াকালে (interaction) আলো কণারূপে আচরণ করে। আলোর (সাধারণভাবে তড়িৎচুম্বকীয় তরঙ্গের) এই দ্বৈতরূপ (dual nature) বর্তমানে একটি স্বীকৃত ঘটনা।

আলোর এই দ্বৈত সত্ত্বা লক্ষ করে 1924 খ্রিস্টাব্দে ফরাসি বিজ্ঞানী লুই দ্য ব্রয় (Louise de Broglie)

একটি অভিনব তত্ত্বের প্রস্তাব করেন। তিনি বলেন যে, বিকিরণ যেমন কোনো কোনো ক্ষেত্রে তরঙ্গের ন্যায় আচরণ করে, আবার কোনো কোনো ক্ষেত্রে কণা বা ফোটনের ন্যায় আচরণ করে তেমনি বস্তুকণাও সুবিধামতো অবস্থায় কণাসত্ত্ব পরিচালনা করে তরঙ্গ সত্ত্ব গ্রহণ করতে পারে। প্রকৃতি প্রতিসাম্য (symmetry) পছন্দ করে। তরঙ্গের বেলায় ভর-শক্তি (mass-energy) প্রতিসাম্য বজায় থাকলে বস্তু কণিকার ক্ষেত্রেও একই প্রতিসাম্য বজায় থাকবে। আলোর যেমন একটি তরঙ্গদৈর্ঘ্য থাকে দ্য ব্রয়ের মত অনুসারে পদার্থ কণিকারও একটি তরঙ্গদৈর্ঘ্য থাকবে। মনে রাখতে হবে পদার্থ কণিকার সাথে সংশ্লিষ্ট তরঙ্গ তড়িৎচুম্বকীয় তরঙ্গ নয়। এই তরঙ্গকে বস্তুতরঙ্গ (matter waves) বলা হয় এবং পদার্থ কণিকার তরঙ্গ দৈর্ঘ্য-কে দ্য ব্রয় তরঙ্গদৈর্ঘ্য বলা হয়।

1927 সালে ডেভিসন ও গার্মার এবং 1928 সালে জি.পি.টমসন পদার্থকণিকার (ইলেকট্রন) তরঙ্গ সত্ত্বার পরীক্ষামূলক প্রমাণ উপস্থিত করেন। প্রকৃতপক্ষে ইলেকট্রনের তরঙ্গ সত্ত্বাকে ভিত্তি করে ইলেকট্রন মাইক্রোস্কোপ যন্ত্র উদ্ভাবিত হয়েছে।

3.8. দ্য-ব্রয় তরঙ্গদৈর্ঘ্য (De-Broglie wave length):

ν কম্পাঙ্ক বিশিষ্ট তরঙ্গের ক্ষেত্রে, আমরা জানি, ফোটনের শক্তি $E = h\nu$ আবার m ভরের একটি গতিশীল কণিকার শক্তি $E = mc^2$ (ii) যেখানে c = আলোর গতিবেগ।

আলো এবং কণার দ্বৈত সত্ত্বা স্বীকার করে নিলে দুই সমীকরণ পরস্পরের তুল্য।

$$\text{অতএব } E = h\nu = mc^2$$

শূন্য দেশে ফোটনের গতিবেগ আলোর গতিবেগের সমান বলে, তার ভরবেগ

$$p = mc = \frac{mc^2}{c} = \frac{h\nu}{c} = \frac{h}{\lambda} \text{ (iii) } [\nu \cdot \lambda = c]$$

বস্তু কণিকার তরঙ্গারূপ আছে মনে করলে ν গতিবেগ যুক্ত m ভরের কণিকার ভরবেগ হবে

$$p = mv = \frac{h}{\lambda} \text{ [(iii) নং সমীকরণ থেকে] এক্ষেত্রে } \lambda \text{ হবে বস্তুকণিকার তরঙ্গারূপের তরঙ্গদৈর্ঘ্য}$$

$$\therefore \lambda = \frac{h}{p} = \frac{h}{mv} \text{ ... (iv)}$$

এটাই হবে পদার্থ কণিকার দ্য ব্রয় তরঙ্গদৈর্ঘ্য। সকল মূল কণিকা (ইলেকট্রন, প্রোটন, নিউট্রন ইত্যাদি) গতিশীল হলে, তাদের যে তরঙ্গ ধর্ম প্রকাশ পাবে তার তরঙ্গদৈর্ঘ্য উপরোক্ত সমীকরণ থেকে পাওয়া যাবে। ঐ সমীকরণকে দ্য ব্রয় তরঙ্গ সমীকরণ (de Broglie wave equation) বলা হয়।

(iv) নং সমীকরণ থেকে জানা যায় যে,

(ক) m অথবা ν বৃহৎ হলে, কণার দ্য ব্রয় তরঙ্গদৈর্ঘ্য খুব ছোটো হয়;

(খ) কণা স্থির থাকলে যে ($\nu = 0$) তার কোনো তরঙ্গারূপ থাকে না;

(গ) কণার দ্য ব্রয় তরঙ্গ কণার সাথে সংশ্লিষ্ট তড়িতাধানের ওপর নির্ভর করে না;

(ঘ) দ্য ব্রয় উপপাদ্য কেবলমাত্র ইলেকট্রন, প্রোটন, নিউট্রন প্রভৃতি মৌল কণার বেলায় প্রযোজ্য নয়; যে-কোনো গতিশীল ভরযুক্ত কণার বেলাতেই প্রযোজ্য।

□ EXAMPLE □

500 V দ্বারা ত্বরান্বিত একটি ইলেকট্রন গুচ্ছের সাথে সংশ্লিষ্ট তরঙ্গের দ্য ব্রয় তরঙ্গদৈর্ঘ্য নির্ণয় করো। ইলেকট্রনের $e/m = 1.7 \times 10^{11} \text{ C kg}^{-1}$; $h = 6.63 \times 10^{-34} \text{ J-s}$ এবং $m = 9.11 \times 10^{-31} \text{ kg}$.

$$\text{উঃ। এখানে, } \frac{1}{2}mv^2 = eV \text{ অথবা } v = \sqrt{\frac{2eV}{m}} = \sqrt{2 \times 1.7 \times 10^{11} \times 500}$$

$$= 1.32 \times 10^7 \text{ ms}^{-1}$$

$$\text{এখন, দ্য ব্রয় তরঙ্গদৈর্ঘ্য } \lambda = \frac{h}{mv} = \frac{6.63 \times 10^{-34}}{9.11 \times 10^{-31} \times 1.32 \times 10^7} \\ = 0.55 \times 10^{-10} \text{ m} = 0.55 \text{ \AA}.$$

এই পরিচ্ছেদের বিষয়বস্তু সম্পর্কে কয়েকটি প্রশ্ন
(Some typical problems of this chapter)

1. ফোটনের শক্তি $E = hv$ সমীকরণ থেকে পাওয়া যায়। কম্পাঙ্ক ν -এর উপস্থিতি বুঝিয়ে দেয় যে আলো তরঙ্গধর্মী। অথচ ফোটন কণাধর্মী। এই বৈষম্য কীভাবে ব্যাখ্যা করবে?
 - আলোকতড়িৎ ক্রিয়ার ব্যাখ্যায় কোয়ান্টাম তত্ত্ব খুব সন্তোষজনক ফল দেয়। তেমনি, কম্পটন ক্রিয়া, রমন ক্রিয়া প্রভৃতি ব্যাখ্যা করতেও কোয়ান্টাম তত্ত্বের প্রয়োজন হয়। এই সকল বিশেষ ক্রিয়া কোয়ান্টাম তত্ত্বকে সুপ্রতিষ্ঠিত করেছে। কোয়ান্টাম তত্ত্ব যে-কোনো বিকিরণকে কণাস্বরূপ গণ্য করে যে-কণাগুলির শক্তি $E = hv$ সমীকরণ হতে পাওয়া যায়। অর্থাৎ, আলোকতড়িৎ ক্রিয়া, রমন ক্রিয়া প্রভৃতি বিশেষ বিশেষ ক্রিয়ায় আলোর কণাধর্ম প্রকট হতে দেখা যায়। কিন্তু ব্যতিচার, অপবর্তন, সমবর্তন প্রভৃতি আলোকীয় ক্রিয়া নিঃসন্দেহে আলোর তরঙ্গ প্রকৃতি প্রমাণিত করে। এই সকল বিশেষ ঘটনায় আলোর কণাধর্ম প্রকট নয়। এই কারণে বিজ্ঞানীরা আলোর তরঙ্গ ও কণা — এই দ্বৈতধর্ম স্বীকার করে নিয়েছেন। পরবর্তীকালে প্রমাণিত হয়েছে, আলোক তরঙ্গের যেমন কণাধর্ম আছে বস্তুকণারও তেমনি তরঙ্গধর্ম আছে। এই দ্বৈত আচরণ প্রতিষ্ঠা করেন ফরাসি বিজ্ঞানী দ্য' ব্রয়।
2. আলোকতড়িৎ ক্রিয়ায় প্রারম্ভ কম্পাঙ্কের অস্তিত্ব ফোটনতত্ত্বের স্বপক্ষে এবং তরঙ্গ-তত্ত্বের বিরুদ্ধে সাক্ষ্য দেয়। কারণ কী?
 - তরঙ্গতত্ত্ব অনুযায়ী হিসাব করলে দেখা যায় তীব্রতা যথেষ্ট হলে যে কোনো কম্পাঙ্কের আলোকতরঙ্গ কোনো ধাতবপৃষ্ঠে আলোকতড়িৎ ক্রিয়া উৎপন্ন করতে সক্ষম হবে। কিন্তু ফোটনতত্ত্ব হতে জানা যায় যে প্রত্যেক ধাতুর বেলায় একটি ন্যূনতম কম্পাঙ্ক আছে যার কম কম্পাঙ্কের কোনো আলো — তীব্রতা যাই হোক না কেন — এ ধাতুতে আলোক-তড়িৎ ক্রিয়া সৃষ্টি করতে পারবে না। পরীক্ষা করে দেখা গেছে যে আলোকতড়িৎ ক্রিয়া বাস্তবিকই কম্পাঙ্ক নির্ভর; তীব্রতা নির্ভর নয়। প্রত্যেক ধাতুর বেলাতেই একটি প্রারম্ভ কম্পাঙ্কের অস্তিত্ব পরীক্ষামূলকভাবে প্রতিষ্ঠিত হওয়ায়, প্রারম্ভ কম্পাঙ্ক হতে ফোটন তত্ত্বের সত্যতার সাক্ষ্য পাওয়া যায়।
3. “যে ধাতু সবুজ আলোয় আলোকতড়িৎ ক্রিয়া প্রদর্শন করে, লাল আলোতে সেই ধাতু এ ক্রিয়া প্রদর্শনে অসমর্থ হতে পারে।” ব্যাখ্যা করো।
 - প্রত্যেক ধাতুরই আলোকতড়িৎ ক্রিয়া প্রদর্শনের ক্ষেত্রে একটি নিম্নতম কম্পাঙ্ক থাকে। এ কম্পাঙ্ককে এ ধাতুর প্রারম্ভ কম্পাঙ্ক বলে। প্রারম্ভ কম্পাঙ্ক অপেক্ষা কম কম্পাঙ্কের আলো এ ধাতুপৃষ্ঠ হতে ইলেকট্রন নিঃসরণ করবে না। এখন, সবুজ আলোর তুলনায় লাল আলোর কম্পাঙ্ক কম। আলোচ্য ধাতুর বেলায় সবুজ আলোর কম্পাঙ্ক প্রারম্ভ কম্পাঙ্ক হলে, তা সবুজ আলোয় আলোক তড়িৎ ক্রিয়া প্রদর্শন করবে কিন্তু তদপেক্ষা কম কম্পাঙ্কযুক্ত লাল আলোতে করবে না।
4. আলোকতড়িৎ কার্য অপেক্ষক বলতে কী বুঝায়? তাপীয় নিঃসরণের ক্ষেত্রেও এই কার্য-অপেক্ষক একই হবে কী?
 - ধাতববস্তুর পরমাণুর ইলেকট্রনগুলি পরমাণুর কেন্দ্রকের আকর্ষণী বলের প্রভাবে পরমাণুর মধ্যে আবদ্ধ থাকে। পরমাণু দেহ হতে তাদের বিচ্ছিন্ন করতে হলে একটি ন্যূনতম শক্তি ইলেকট্রনগুলিকে দিতে হয়। বস্তুকে উত্তপ্ত করে অথবা বস্তুর ওপর আলোকপাত করে এই শক্তি সরবরাহ করা যায়।

কোনো পদার্থের উপরিতল হতে ইলেকট্রন নিঃসৃত করতে ন্যূনতম প্রয়োজনীয় শক্তিকে ঐ পদার্থের কার্যঅপেক্ষক বলা হয়। কার্যঅপেক্ষককে সাধারণত ইলেকট্রন-ভোল্ট (eV) এককে প্রকাশ করা হয়। এটা বস্তুর প্রকৃতির ওপর নির্ভর করে। যেমন, সিজিয়াম ধাতুর কার্যঅপেক্ষক 1.99 eV, তামার 4.5 eV ইত্যাদি। আলোকতড়িৎ প্রক্রিয়ায় যদি উক্ত ন্যূনতম শক্তি সরবরাহ করে ধাতব পৃষ্ঠ হতে ইলেকট্রন নিঃসরণ করা হয়, তবে ঐ শক্তিকে আলোকতড়িৎ কার্যঅপেক্ষক বলা হয়। আর যদি ধাতব পৃষ্ঠকে উত্তপ্ত করে ঐ ন্যূনতম শক্তি সরবরাহ করা হয়, তবে তাকে বলে তাপীয় আয়নিক কার্য অপেক্ষক। কার্যঅপেক্ষক যেহেতু ধাতব বস্তুর প্রকৃতির ওপর নির্ভর করে তাই কোনো ধাতব পৃষ্ঠের বেলায় উক্ত দুই কার্যঅপেক্ষক সমান হবে।

5. দুটি ধাতু A এবং B -এর কার্য অপেক্ষক 3 eV এবং 6 eV। আলোকতড়িৎ সম্পর্কে কোন্ ধাতুর প্রারম্ভিকম্পাঙ্ক কম?

● প্রারম্ভিকম্পাঙ্ক ν_0 হলে কার্য-অপেক্ষক $\phi = h \cdot \nu_0$; অথবা $\nu_0 \propto \phi$; B ধাতুর কার্য-অপেক্ষক A-ধাতুর দ্বিগুণ হওয়ায়, A ধাতুর প্রারম্ভিকম্পাঙ্ক B ধাতু অপেক্ষা নিম্নতর হবে।

6. সোডিয়াম ধাতুর ওপর 6800 Å° তরঙ্গদৈর্ঘ্যের কমলা রংয়ের আলো ফেললে কী আলোকতড়িৎ ক্রিয়া দেখা যাবে? সোডিয়ামের কার্যঅপেক্ষক = 2.3 eV।

● কার্যঅপেক্ষক ϕ এবং প্রারম্ভিক তরঙ্গদৈর্ঘ্য λ_0 হলে $\lambda_0 = \frac{h \cdot c}{\phi_0}$

$$\text{সোডিয়ামের ক্ষেত্রে, } \lambda_0 = \frac{6.62 \times 10^{-34} \times 3 \times 10^8}{2.3 \times 1.6 \times 10^{-19}} = 5.3967 \times 10^{-7} \text{ m} = 5396 \text{ Å}^\circ$$

অতএব, সোডিয়ামের প্রারম্ভিক তরঙ্গদৈর্ঘ্য 5396 Å°; যেহেতু আপতিত আলোর তরঙ্গদৈর্ঘ্য (6800 Å°) প্রারম্ভিক তরঙ্গদৈর্ঘ্য অপেক্ষা বেশি তাই আপতিত আলো সোডিয়াম ধাতুতে আলোক-তড়িৎ ক্রিয়া প্রদর্শন করবে না।

7. একটি ধাতুর ওপর আপতিত আলোর তীব্রতা হ্রাস করলে, নিবৃতি বিভবের ওপর কী প্রভাব পড়বে?

● নিবৃতি বিভব আপতিত আলোর তীব্রতার ওপর নির্ভর করে না। অতএব, আপতিত আলোর তীব্রতা হ্রাস বা বৃদ্ধি করলে নিবৃতি বিভবের ওপর কোনো প্রভাব পড়বে না।

8. একটি ধাতব বস্তুর ওপর আপতিত আলোর তরঙ্গদৈর্ঘ্য ক্রমাগত বাড়িয়ে গেলে নির্গত ইলেকট্রনের সংখ্যা এবং শক্তির কী পরিবর্তন দেখা যাবে?

● আপতিত আলোর তরঙ্গদৈর্ঘ্য ক্রমশ বাড়িয়ে গেলে, প্রথমত নির্গত ইলেকট্রন সংখ্যা কমে থাকবে এবং শক্তিও কমে থাকবে। যখন তরঙ্গদৈর্ঘ্য প্রারম্ভিক তরঙ্গদৈর্ঘ্য (threshold wave length) অপেক্ষা বেশি হবে, তখন আর কোনো ইলেকট্রন নির্গত হবে না এবং আলোকতড়িৎ ক্রিয়া বন্ধ হয়ে যাবে।

9. দুটি ধাতু A অথবা B -এর কার্য অপেক্ষক যথাক্রমে 1 eV এবং 4 eV। দৃশ্যমান আলো ব্যবহৃত হচ্ছে এরূপ একটি আলোকতড়িৎ কোশের পক্ষে কোন্ ধাতুটি ব্যবহারযোগ্য?

● A ধাতুর কার্যঅপেক্ষক দৃশ্যমান আলোক ফোটনের শক্তি অপেক্ষা কম বলে, A -ধাতু আলোকতড়িৎ কোশের পক্ষে ব্যবহার যোগ্য।

10. কোনো ধাতুর আলোকতড়িৎ 'প্রারম্ভিকম্পাঙ্ক' ও 'কার্য অপেক্ষকের' সংজ্ঞা দাও।
উভয়ের মধ্যে সম্পর্ক কী?

[Jt. Entrance 1994]

● প্রত্যেক ধাতুর বেলায় একটি নিম্নতম কম্পাঙ্ক আছে যার কম কম্পাঙ্কবিশিষ্ট আলো ঐ ধাতু থেকে ইলেকট্রন নির্গত করতে পারে না—অর্থাৎ আলোকতড়িৎ ক্রিয়া উৎপন্ন করতে পারে না। একেই

ঐ ধাতুর প্রারম্ভ কম্পাঙ্ক বলে।

কোনো ধাতবপৃষ্ঠ থেকে একটি ইলেকট্রনকে পৃষ্ঠের ধনাত্মক আয়নগুলির আকর্ষণকে প্রতিহত করে মুক্ত করতে যে শক্তির প্রয়োজন, তাকে ঐ ধাতুর আলোক তড়িৎ কার্য অপেক্ষক বলা হয়।

প্রারম্ভ কম্পাঙ্ক ν_0 এবং কার্য অপেক্ষক ϕ হলে, $\phi = h\nu_0$ - এটাই হল প্রারম্ভ কম্পাঙ্ক ও কার্য অপেক্ষক-এর সম্পর্ক।

11. আলোকতরঙ্গ ও বহুতরঙ্গের ভিতর পার্থক্য কী?

- শূন্য মাধ্যমে আলোর গতিবেগ ধ্রুবক; কিন্তু শূন্য মাধ্যমে বহুতরঙ্গের গতিবেগ তার তরঙ্গদৈর্ঘ্য ওপর নির্ভরশীল।

12. বহুতরঙ্গ কি তড়িৎচুম্বকীয় তরঙ্গ?

- না। তড়িৎচালিত তড়িৎগতিতে (accelerated motion) গতিশীল হলে, তড়িৎচুম্বকীয় তরঙ্গের উদ্ভব হয়। বহুতরঙ্গে তড়িৎচালনের কোনো ভূমিকা নেই।

* প্রশ্নাবলি *

➔ রচনামূলক প্রশ্ন

1. আলোকতড়িৎ ক্রিয়া কী? এই ক্রিয়া কীভাবে আবিষ্কৃত হল?
2. আলোকতড়িৎ নিঃসরণ সম্পর্কে প্রধান প্রধান বৈশিষ্ট্যগুলি উল্লেখ করো। তাদের প্রদর্শনের উপযুক্ত পরীক্ষা বর্ণনা করো। প্রারম্ভ কম্পাঙ্ক কাকে বলে?
3. আলোকতড়িৎ কোশ কয় প্রকার? এদের বিবরণ ও ব্যবহার লেখো।
4. কোয়ান্টাম তত্ত্ব সহজে যা জান সংক্ষেপে লেখো। প্রাক্ষরধ্রুব বলতে কী বোঝ?
5. আলোকতড়িৎ ক্রিয়ার মূল তথ্যগুলি কোয়ান্টাম তত্ত্বের সাহায্যে কীরূপে ব্যাখ্যা করা যায় বুঝিয়ে দাও।
6. আলোকতড়িৎ প্রক্রিয়া এবং ফটো ইলেকট্রন বলতে কী বোঝ? ফটো ইলেকট্রন নিঃসরণ কোয়ান্টাম তত্ত্বের সাহায্যে কীরূপে ব্যাখ্যা করা যায়?
7. কোনো ধাতুর আলোকতড়িৎ ‘প্রারম্ভ কম্পাঙ্ক’ ও ‘কার্য অপেক্ষকের’ সংজ্ঞা দাও। উভয়ের মধ্যে সম্পর্ক কী?
8. আলোক-তড়িৎ ক্রিয়া সম্পর্কিত আইনস্টাইনের সমীকরণ ব্যাখ্যা কর। আলোকতড়িৎ কার্য অপেক্ষক বলতে কী বোঝ?
9. আইনস্টাইন কীভাবে আলোকতড়িৎ নিঃসরণ ব্যাখ্যা করেছিলেন?
10. ধাতবপৃষ্ঠ থেকে নির্গত ইলেকট্রনের সর্বাধিক গতিশক্তি এবং সংখ্যা নিম্নলিখিত বিষয়গুলির ওপর কীভাবে নির্ভর করে: (i) আপতিত আলোর তীব্রতা বৃদ্ধি করলে (ii) ধাতব পৃষ্ঠ পরিবর্তন করলে (iii) আপতিত আলোর তরঙ্গদৈর্ঘ্য বৃদ্ধি করলে।
11. আপতিত আলোকের শক্তি কোন ধাতুর আলোক তড়িৎকার্য অপেক্ষক অপেক্ষা কম হলে ঐ ধাতুর তল থেকে কোন ইলেকট্রন নির্গত হতে পারে না। গাণিতিকভাবে উক্তিটির সত্যতা যাচাই কর।

➔ সংক্ষিপ্ত উত্তরের প্রশ্ন

1. নিবৃত্তিবিভব ও প্রারম্ভ কম্পাঙ্ক কাকে বলে?
2. আলোকতড়িৎ বিষয়ে নিম্নলিখিত সম্পর্কগুলির মধ্যে লেখ আঁকো—(ক) আপতিত আলোর তীব্রতা এবং প্রবাহমাত্রা (খ) আপতিত আলোর কম্পাঙ্ক ও ইলেকট্রনের সর্বোচ্চ গতিশক্তি (গ) আপতিত আলোর তীব্রতা ও ইলেকট্রনের সর্বোচ্চ গতিশক্তি।
3. প্রারম্ভ কম্পাঙ্ক কাকে বলে? কোনো ধাতুর আলোকতড়িৎ প্রারম্ভকম্পাঙ্ক কার ওপর নির্ভর করে?
4. একটি বায়ুশূন্য কাচের কুন্ডের ভিতর দুটি ধাতব প্লেট আছে। একটি প্লেটের ওপর অতিবেগুনি আলো ফেলা হল এবং অপর প্লেটের সাপেক্ষে তাকে পজিটিভ বিভব দেওয়া হল। এই অবস্থায় কোনো তড়িৎপ্রবাহ পাওয়া যাবে কি?
5. 2000 Å তরঙ্গদৈর্ঘ্যের আলো নিকেল প্লেটে পড়লে, প্লেট পজিটিভ তড়িৎচালিত হয়। তরঙ্গদৈর্ঘ্য বৃদ্ধি করা হলে দেখা যায় যে 3400 Å তরঙ্গদৈর্ঘ্যে ওইরূপ কোনো ফলাফল পাওয়া যায় না—আলোর তীব্রতা যাই হোক না কেন। ব্যাখ্যা করো।
6. ‘আলোক-তড়িৎ কোশের ক্রিয়া এক হিসাবে এক্সরশি নলের ক্রিয়ার বিপরীত—এই উক্তি ব্যাখ্যা করো।
7. একটি সুযম তড়িৎক্ষেত্রে অন্তরিত সূত্রের সাহায্যে একটি ধাতব বল বুলানো আছে। যদি ঐ বলের ওপর

উচ্চশক্তিসম্পন্ন এক্সরশি আপতিত হয়, তাহলে বলটি তড়িৎক্ষেত্রের অভিমুখে বিক্ষিপ্ত হবে। উক্তিটি নির্ভুল কিনা যুক্তি সহকারে উল্লেখ করো।

8. A এবং B দুটি আলোক উৎস। A কর্তৃক সৃষ্ট আলোর তরঙ্গদৈর্ঘ্য 8000 \AA হতে 11000 \AA পর্যন্ত বিস্তৃত। B-এর বিস্তৃতি 3000 \AA হতে 6000 \AA পর্যন্ত। A উৎসের তীব্রতা B-এর তিনগুণ। একটি ধাতবপৃষ্ঠ হতে B উৎস ইলেকট্রন নির্গত করতে পারে কিন্তু A উৎস পারে না। কারণ ব্যাখ্যা করো।

9. ইলেকট্রন দ্বারা ফোটন উৎপন্ন করা এবং ফোটন দ্বারা ইলেকট্রন উৎপন্ন করার স্বপক্ষে দুটি ঘটনার উল্লেখ করো।
(সংকেত : প্রথমটি এক্সরশি এবং দ্বিতীয়টি আলোকতড়িৎ ঘটনা।)

10. কোন্ যুক্তি বলে দ্য'ব্রয়ের মনে বস্তু কণার তরঙ্গাধর্ম ধারণা গঠিত হল? এই তরঙ্গা এবং আলোক তরঙ্গের মধ্যে পার্থক্য কী?

11. কোনো বিকিরণের তরঙ্গদৈর্ঘ্য ও ঐ বিকিরণের ফোটনের তরঙ্গদৈর্ঘ্য কী সমান?

$$[সংকেত : \nu \text{ কম্পাঙ্কের ফোটনের ভরবেগ } p = \frac{h\nu}{c} = \frac{h\nu}{v\lambda} = \frac{h}{\lambda} \therefore \lambda = \frac{h}{p}]$$

$$\text{ফোটনের দ্য'ব্রয় তরঙ্গ দৈর্ঘ্য } \lambda' = \frac{h}{m} = \frac{h}{p}; \text{ অতএব } \lambda = \lambda']$$

→ অতিসংক্ষিপ্ত উত্তরের প্রশ্ন

1. দেখা গেল যে একটি ধাতু থেকে হলুদ বর্ণের আলো কোন ফোটো ইলেকট্রন নির্গত করে না। এ অবস্থায় কমলা বর্ণের আলো ব্যবহার করা কি যুক্তিযুক্ত হবে? সবুজ বর্ণের আলো?
2. আলোকতড়িৎ সংক্রান্ত এক পরীক্ষায় দেখা গেল যে ফোটন যে দিক থেকে এসে আপতিত হল ফটো ইলেকট্রন প্রায় তার বিপরীত দিকে নির্গত হল। এটা কি ভরবেগ সংরক্ষণ সূত্রের পরিপন্থী?
3. ফোটনকে কি তড়িৎক্ষেত্র বা চৌম্বক ক্ষেত্র দ্বারা বিক্ষিপ্ত করা যায়?
4. সমান তীব্রতার দুটি উৎস কোন নির্দিষ্ট সময়ে সমান সংখ্যক ফোটন নির্গত করবে—এই উক্তি কি সর্বদা ঠিক?
5. তামার কার্য অপেক্ষক 4.4 eV ; দৃশ্যমান আলো দ্বারা তামাকে উত্তাপিত করলে, ফটো ইলেকট্রন নির্গত হবে?
6. কার্য অপেক্ষকের ব্যবহারিক একক কি?
7. আলোক তড়িৎ প্রক্রিয়ার সমস্ত বৈশিষ্ট্যগুলিকে ব্যাখ্যা করার জন্য আলোকের কোন ধর্মকে ব্যবহার করা হয়?
8. ফটো ইলেকট্রিক প্রবাহের উপর আপতিত আলোর তীব্রতা বৃদ্ধির ফল কি?
9. একটি ইলেকট্রন ও একটি প্রোটনের দাব্রয় তরঙ্গ দৈর্ঘ্য বিবেচনা কর। কণা দুটির (i) ভ্রুতি সমান এবং (ii) ভরবেগ সমান হলে, কার তরঙ্গ দৈর্ঘ্য ক্ষুদ্রতর হবে?
10. ইলেকট্রনের তরঙ্গদৈর্ঘ্য থাকলে, তার কি কোন বর্ণ থাকবে?
[Hints : না; ইলেকট্রনের তরঙ্গদৈর্ঘ্য দৃশ্যমান বর্ণালীর ভিতর পড়ে না।]
11. প্রারম্ভ কম্পাঙ্ক কাকে বলে?

→ বহুমুখী পছন্দের প্রশ্ন [Multiple choice type (MCQ)]

(A) নির্ভুল উত্তরটি ✓ চিহ্নিত করো :

- i] ধাতব পৃষ্ঠে অতি বেগুনি আলো পড়লে যে কণাগুলি নির্গত হয় তারা—
(A) পজিটিভ তড়িৎপ্রস্তু প্রোটন (B) নিউট্রিং কণা নিউট্রন
(C) নেগেটিভ তড়িৎপ্রস্তু ইলেকট্রন (D) নিউট্রিং ফোটন।
- ii] উপরোক্ত প্রশ্নে নির্গত কণাগুলির গতিশক্তি নির্ভর করে—
(A) আপতিত আলোর তীব্রতার উপর (B) আপতিত আলোর কম্পাঙ্কের উপর
(C) নির্গত কণার ভরের উপর (D) নির্গত কণার গতিবেগের উপর।
- iii] আলোক তড়িৎ ঘটনা আলোর প্রকৃতির কোন্ তত্ত্বের সমর্থক?
(A) তরঙ্গ তত্ত্ব (B) কণিকা তত্ত্ব (C) কোয়ান্টাম তত্ত্ব (D) কোনটাই না।
- iv] আলোকতড়িৎ প্রক্রিয়ায় নির্গত ইলেকট্রনের সর্বাধিক গতিবেগ,
(A) আপতিত আলোর তীব্রতার বৃদ্ধির সঙ্গে বৃদ্ধি পায়,
(B) আপতিত আলোর কম্পাঙ্ক বৃদ্ধির সঙ্গে বৃদ্ধি পায়,
(C) আপতিত আলোর তরঙ্গদৈর্ঘ্য বৃদ্ধির সঙ্গে বৃদ্ধি পায়,
(D) এদের কোনটাই নয়।

- [v] একটি ধাতুর কার্য অপেক্ষক 3.5 eV ; এই ধাতুর স্ট্রেট থেকে নির্গত ইলেকট্রনকে বন্ধ করতে -1.2 V নিবৃতি বিভব প্রয়োজন। আপতিত আলোর শক্তি—
 (A) 3.5 eV (B) 4.7 eV (C) 1.2 eV (D) 2.3 eV
- [vi] একটি ধাতব স্ট্রেটের প্রারম্ভকম্পাঙ্ক যুক্ত ফোটনের শক্তি 6.2 eV এবং আপতিত আলোর বেলায় নিবৃতি বিভব 5 V ; আপতিত আলোর একটি ফোটনের শক্তি—
 (A) 6.2 eV (B) 5 eV (C) 1.2 eV (D) 11.2 eV
- [vii] যে ফোটনের শক্তি 75 eV তার কম্পাঙ্ক—
 (A) $1.8 \times 10^{15} \text{ Hz}$ (B) $18 \times 10^{15} \text{ Hz}$ (C) $18 \times 10^{14} \text{ Hz}$ (D) $3.6 \times 10^{15} \text{ Hz}$
- [viii] প্রারম্ভ কম্পাঙ্কের থেকে বেশী কম্পাঙ্কবিশিষ্ট কোন আলোক রশ্মি একটি ধাতব পাতের উপর আপতিত হল। আলোক তড়িৎ ক্রিয়ায় নির্গত ইলেকট্রনের গতিশক্তি—
 (A) আলোকের তীব্রতার সমানুপাতিক ও কম্পাঙ্কের উপর নির্ভরশীল নয়,
 (B) আলোকের কম্পাঙ্কের সমানুপাতিক ও তীব্রতার উপর নির্ভরশীল নয়,
 (C) আলোকের তীব্রতা ও কম্পাঙ্কের সমানুপাতিক,
 (D) তীব্রতা ও কম্পাঙ্কের উপর নির্ভরশীল নয়।
- [ix] ফটোইলেকট্রিক তলের উপর আপতিত আলোর তীব্রতা দ্বিগুণ করলে কি ঘটবে ?
 (A) নির্গত ফোটনের কম্পাঙ্ক দ্বিগুণ হবে,
 (B) নির্গত ফোটনের কম্পাঙ্ক তিনগুণ হবে,
 (C) নির্গত ফটোইলেকট্রনের সংখ্যা দ্বিগুণ হবে,
 (D) নির্গত ফটো ইলেকট্রনের সংখ্যা তিনগুণ হবে।
- [x] একটি ধাতুর কার্য অপেক্ষক $h\nu_0$ । ν কম্পাঙ্কের আলো এই ধাতুর উপর এসে পড়ল। ফটো-ইলেকট্রিক ফলাফল পাওয়া যাবে যদি—
 (A) $\nu \geq \nu_0$ (B) $\nu > 2\nu_0$ (C) $\nu < \nu_0$ (D) $\nu < \frac{\nu_0}{2}$
- [xi] λ তরঙ্গ দৈর্ঘ্যের আলো এসে পড়ল এরূপ এক ধাতুর উপর যার কার্য অপেক্ষক $\frac{hc}{\lambda_0}$ । ফটো ইলেকট্রিক ফলাফল পাওয়া যাবে যদি—
 (A) $\lambda \geq \lambda_0$ (B) $\lambda \geq 2\lambda_0$ (C) $\lambda \leq \lambda_0$ (D) $\lambda < \frac{\lambda_0}{2}$
- [xii] ফটো ইলেকট্রিক পরীক্ষায় আপতিত আলোর কম্পাঙ্ক দ্বিগুণ করা হলে নিবৃতি বিভব,
 (A) দ্বিগুণ হয় (B) অর্ধেক হয়
 (C) দ্বিগুণেরও বেশী হয় (D) দ্বিগুণের কম হয়।
- [xiii] আলোকের একটি বিন্দু উৎস আলোক তড়িৎ প্রক্রিয়ার জন্য ব্যবহার করা হল। উৎসকে ধাতবস্ট্রেট থেকে দূরে সরিয়ে নিলে নিবৃতি বিভব,
 (A) বৃদ্ধি পাবে (B) হ্রাস পাবে
 (C) একই থাকবে (D) বাড়তেও পারে ; কমেও পারে।
- [xiv] ফটো ইলেকট্রিক পরীক্ষায় একবর্ণের আলো ব্যবহার করা হল। এতে নিবৃতি বিভব,
 (A) গড় তরঙ্গ দৈর্ঘ্যের সঙ্গে সম্পর্কযুক্ত হবে,
 (B) সর্বাপেক্ষা দীর্ঘ তরঙ্গ দৈর্ঘ্যের সঙ্গে সম্পর্কযুক্ত হবে,
 (C) সর্বাপেক্ষা ক্ষুদ্র তরঙ্গদৈর্ঘ্যের সঙ্গে সম্পর্কযুক্ত হবে,
 (D) তরঙ্গ দৈর্ঘ্যের সঙ্গে সম্পর্কযুক্ত নয়।
- [xv] একটি প্রোঁটন ও একটি ইলেকট্রনকে একই বিভবপ্রভেদ দ্বারা ত্বরান্বিত করা হল। λ_p এবং λ_e তাদের দ্য ব্রয় তরঙ্গ দৈর্ঘ্য। এক্ষেত্রে—
 (A) $\lambda_e = \lambda_p$ (B) $\lambda_e < \lambda_p$ (C) $\lambda_e > \lambda_p$ (D) কোনটাই নয়।
- [xvi] আলোক তড়িৎ পরীক্ষায় আলোক তড়িৎপ্রবাহমাত্রা বৃদ্ধি পায় যদি—
 (A) আলোক উৎসের তীব্রতা বাড়ানো হয় (B) আলোক আপতনের সময় বাড়ানো হয়
 (C) আলোক উৎসের তীব্রতা কমানো হয় (D) আলোক আপতনের সময় কমানো হয়।
- [xvii] কোন অবস্থায় দুই ধরনের কণার মধ্যে অপেক্ষাকৃত ভারী কণার দ্র ব্রয় তরঙ্গ দৈর্ঘ্য অপেক্ষাকৃত কম হবে ?
 (A) কণাদ্বয় একই বেগে চললে (B) একই রৈখিক ভরবেগ নিয়ে চললে
 (C) একই গতিশক্তি নিয়ে চললে (D) একই উচ্চতা থেকে পড়লে।

- [xviii] আলুমিনিয়াম ধাতু এবং সোডিয়াম ধাতুর কার্য-অপেক্ষক যথাক্রমে 4.2eV এবং 2.0eV । যথোপযুক্ত আলো ফেলে তাদের থেকে ফটোনিঃসরণ করা হল। এক্ষেত্রে,
 (A) দুয়েরই প্রারম্ভ কম্পাঙ্ক সমান হবে,
 (B) আলুমিনিয়ামের প্রারম্ভ কম্পাঙ্ক সোডিয়াম থেকে বেশী হবে,
 (C) আলুমিনিয়ামের প্রারম্ভ কম্পাঙ্ক সোডিয়াম থেকে কম হবে,
 (D) আলুমিনিয়ামের প্রারম্ভ তরঙ্গ দৈর্ঘ্য সোডিয়াম থেকে বেশী হবে।

- [xix] একটি ফটো ইলেকট্রিক ধাতুর উপর নির্দিষ্ট তীব্রতার এবং নির্দিষ্ট কম্পাঙ্কের আলো এসে পড়ল। আলোর তীব্রতা এক তৃতীয়াংশ কমালে এবং কম্পাঙ্ক তিনগুণ বাড়ালে, ফটো ইলেকট্রনের গতিবেগ,
 (A) বাড়বে (B) কমবে (C) একই থাকবে (D) বাড়তেও পারে ; কমতেও পারে।

- [xx] λ তরঙ্গদৈর্ঘ্যের এক বর্ণের আলো দ্বারা কোন ধাতব তলকে উদ্ভাসিত করলে নিবৃত্তি বিভব হয় $3V_0$ । যখন ঐ ধাতব তলের তলকে 2λ তরঙ্গদৈর্ঘ্যের আলো দ্বারা আলোকিত করা হয় তখন নিবৃত্তি বিভব হয় V_0 । ধাতব তলের প্রারম্ভ তরঙ্গদৈর্ঘ্য,
 (A) $\frac{4\lambda}{3}$ (B) 4λ (C) 6λ (D) 8λ ।

- [xxi] ফোটন ধাতবতলে পড়ার কতক্ষণ পরে ফটোইলেকট্রন তল থেকে নির্গত হয় ?
 (A) 10^{-10} s (B) $3 \times 10^{-9}\text{ s}$ (C) 10^{-16} s (D) 10^{-4} s [A.I.E.E.Exam. 2006]

- [xxii] একটি ধাতবতলের প্রারম্ভ কম্পাঙ্কের তুল্য শক্তি 6.2 eV এবং ঐ তলে আপতিত বিকিরণের নিবৃত্তি বিভব $5V$ । আপতিত আলো
 (A) অবলোহিত অঞ্চলে অবস্থিত
 (B) দৃশ্যমান অঞ্চলে অবস্থিত
 (C) এক্সরাশি অঞ্চলে (D) অতিবেগুনি অঞ্চলে অবস্থিত। [A.I.E.E.Exam. 2006]

- [xxiii] নিম্নের উক্তিগুলির মধ্যে কোনটি ভুল ?
 (A) ফোটন কণার স্থির ভর শূন্য,
 (B) ফোটন কণার ভরবেগ শূন্য,
 (C) শূন্য মাধ্যমে ফোটন কণা আলোর সমান বেগে যাতায়াত করে,
 (D) ফোটন কণা মহাকর্ষ বল অনুভব করে।

- [xxiv] 1000 g ভরের একটি ইস্পাত বল 1 ms^{-1} গতিবেগে চললে, তার সংশ্লিষ্ট দ্য ব্রয় তরঙ্গ দৈর্ঘ্য
 (A) $6.626 \times 10^{-31}\text{ m}$ (B) $6.626 \times 10^{-37}\text{ m}$
 (C) $6.626 \times 10^{-34}\text{ m}$ (D) $6.626 \times 10^{-34}\text{ m}$ ($h = 6.626 \times 10^{-34}\text{ J-s}$)

- [xxv] আলোকতড়িৎ ক্রিয়া থেকে প্রমাণিত হয়
 (A) ইলেকট্রনের তরঙ্গাধর্ম (B) আলোর ঋণাত্মক আধান
 (C) আলোর তরঙ্গ ধর্ম (D) আলোর কণা ধর্ম। [Jt. Entrance 2006]

- [xxvi] যদি W কোন ধাতবতলের ফটো-ইলেকট্রিক কার্য অপেক্ষক হয়, γ প্রযুক্ত আলোর কম্পাঙ্ক, m নির্গত ফটো-ইলেকট্রনের ভর এবং u ঐ ফটো ইলেকট্রনের বেগ তাহলে আইনস্টাইনের ফটো-ইলেকট্রিক সমীকরণ হবে
 (A) $h\nu + W = \frac{1}{2}mv^2$ (B) $h\nu + hW = \frac{1}{2}mv^2$
 (C) $h\nu - W = \frac{1}{2}mv^2$ (D) $h\nu - hW = \frac{1}{2}mv^2$ [Jt. Entrance 2006]

- [xxvii] v_1 এবং v_2 দুটি কম্পাঙ্ক, ($v_1 > v_2$) একটি ধাতবপৃষ্ঠ থেকে আলোকতড়িৎ নিঃসরণ করে এবং ইলেকট্রনের সর্বোচ্চ গতিশক্তি দ্বিতীয় ক্ষেত্রে (যেমন কম্পাঙ্ক v_2) 4 গুণ হয়। ধাতুর সূচনা কম্পাঙ্ক কত ?
 [Jt. Entrance 2006]

- (A) $(4v_1 - v_2)/3$ (B) $(4v_1 + v_2)/3$
 (C) $(v_1 - v_2)/3$ (D) $(v_1 + v_2)/4$

[Hints : $E_{\text{max}} = h\nu_1 - h\nu_0$ এবং $4E_{\text{max}} = h\nu_2 - h\nu_0$; So $4 = (\nu_2 - \nu_0)/(\nu_1 - \nu_0)$]

(B) শূন্যস্থান পূরণ করো (Fill up the blanks) :

- [i] ফটো ইলেকট্রনগুলির গতিশক্তি নির্ভর করে _____ উপর কিন্তু _____ উপর নয়।
 [ii] সংপৃক্ত ফটো ইলেকট্রিক প্রবাহমাত্রা _____ এর সমানুপাতে বৃদ্ধি পায় ; নিবৃত্তি বিভব রৈখিকভাবে বৃদ্ধি পায় আলোর _____ উপর।
 [iii] ফটো-ইলেকট্রিক প্রক্রিয়ার ভিত্তি _____ সংরক্ষণ সূত্রের উপর।
 [iv] ফটো ইলেকট্রিক প্রক্রিয়ায় নির্গত ইলেকট্রনে সর্বাধিক গতিশক্তি নির্ভর করে _____ উপর।
 [v] m ভর এবং গতিশক্তি h যুক্ত একটি কণার দ্য ব্রয় তরঙ্গদৈর্ঘ্য λ _____।

[vi] দুটি ধাতু A এবং B এর কার্য অপেক্ষক 3 eV এবং 6 eV। A ধাতুর প্রারম্ভ কম্পাঙ্ক B-ধাতু অপেক্ষা

(C) ভুল কি নির্ভুল বিচার করো (True or false type) :

- [i] ফোটনের কোন সসীম (finite) স্থির ভর নেই।
- [ii] আলোকতড়িৎ নিঃসরণ তখনই সম্ভব যখন আপতিত রশ্মির কম্পাঙ্ক প্রারম্ভ কম্পাঙ্কের কম হয়।
- [iii] আলোক তড়িৎ ধাতবপৃষ্ঠ থেকে নির্গত ফটো ইলেকট্রনের গতিশক্তি আপতিত আলোর তীব্রতার উপর নির্ভরশীল নয়।
- [iv] কণার দ্য ব্রয় তরঙ্গ দৈর্ঘ্য কণার সাথে সংশ্লিষ্ট তড়িত আধানের উপর নির্ভর করে।
- [v] কণা স্থির থাকলে তার কোন দ্য ব্রয় তরঙ্গরূপ থাকে না।
- [vi] আইনস্টাইন সর্বপ্রথম ফটো ইলেকট্রিক ঘটনাবলীর কোয়ান্টাম ব্যাখ্যা দেন।

→ গাণিতিক প্রশ্ন

1. (a) 3.3×10^{-20} J শক্তি সম্পন্ন একটি ফোটনের কম্পাঙ্ক কত ? [Ans. 5×10^{13} Hz]
 $[1 \text{ e.V.} = 1.6 \times 10^{-12} \text{ erg এবং } h = 6.57 \times 10^{-27} \text{ erg}]$
 (b) একটি অতিবেগুনি আলোকের তরঙ্গ দৈর্ঘ্য $3 \times 10^{-5} \text{ cm}$; ফোটন কণার সংশ্লিষ্ট শক্তি ইলেকট্রন-ভোল্ট এককে কি হবে ? $c = 3 \times 10^{10} \text{ cms}^{-1}$. [Ans. 4.14 erg]
2. 5000 Å° তরঙ্গদৈর্ঘ্যে আলো কোনো ধাতুতে আপতিত হলে যে ইলেকট্রন নির্গত হয় তার সর্বাধিক গতিশক্তির মান 0.3 eV ; ঐ ধাতুর কার্য অপেক্ষক নির্ণয় করো। $1 \text{ eV} = 1.6 \times 10^{-12}$ আর্গ; $h = 6.640 \times 10^{-27} \text{ erg-s}$. [Ans. 2.19 eV]
 $[সংকেত : h\nu = \frac{hc}{\lambda} = \frac{6.640 \times 10^{-27} \times 3 \times 10^{10}}{5000 \times 10^{-8}} \text{ erg} = 2.49 \text{ eV}; \text{ এখন } E_{\text{max}} = h\nu - \phi \text{ সমীকরণ প্রয়োগ করো।}]$
3. মলিবডিনামের কার্য অপেক্ষক 4.2 volt ; $1000 \times 10^{-8} \text{ cm}$ তরঙ্গদৈর্ঘ্যের অতিবেগুনি রশ্মি মলিমডিনামের ওপর আপতিত হলে, মুক্ত ইলেকট্রনের সর্বাধিক গতিবেগ কত ? $h = 6.62 \times 10^{-27} \text{ erg-s}$; $e = 4.8 \times 10^{-10} \text{ e.s.u.}$ এবং $m = 9.12 \times 10^{-28} \text{ g}$. [Ans. $1.78 \times 10^8 \text{ cms}^{-1}$ (প্রায়)]
4. (a) পটাশিয়ামের প্রারম্ভ কম্পাঙ্ক 3×10^{14} হলে, তার কার্য অপেক্ষক কত ? $h = 6.62 \times 10^{-27} \text{ erg-s}$. [Ans. $1.98 \times 10^{-12} \text{ erg}]$
5. দস্তার কার্য অপেক্ষক 3.6 eV । দস্তার প্রারম্ভ কম্পাঙ্ক $9 \times 10^{-14} \text{ cps}$ হলে প্লাঙ্কের ধ্রুবক নির্ণয় করো। $[1 \text{ eV} = 1.6 \times 10^{-12} \text{ erg}]$ [Ans. $6.4 \times 10^{-27} \text{ erg-s}$]
6. কোনো ধাতুর ক্ষেত্রে আলোক তড়িৎ ক্রিয়ার জন্য প্রারম্ভ তরঙ্গদৈর্ঘ্য 7000 Å° । এর কার্য অপেক্ষক ভোল্ট এককে প্রকাশ করো। $(h = 6.60 \times 10^{-27} \text{ erg-s}; 1 \text{ eV} = 1.6 \times 10^{-12} \text{ erg})$ [Ans. 1.76 eV (প্রায়)]
7. কোনো ধাতুর প্রারম্ভ তরঙ্গদৈর্ঘ্যে 4000 Å° । এর ওপর 2000 Å° তরঙ্গদৈর্ঘ্যের আলো পড়লে নির্গত ইলেকট্রনের সর্বাধিক গতিশক্তি কত হবে ? $h = 6.62 \times 10^{-27} \text{ erg-s}$ এবং $1 \text{ eV} = 1.6 \times 10^{-12} \text{ erg}$. [Ans. 3.1 eV]
8. একটি ধাতু থেকে আলোকতড়িৎ নিঃসরণের প্রারম্ভ তরঙ্গদৈর্ঘ্য 3800 Å° ; 2600 Å° তরঙ্গদৈর্ঘ্যের অতিবেগুনি আলো ঐ ধাতুর ওপর ফেলা হল। ঐ ধাতুর আলোকতড়িৎ কার্য অপেক্ষক এবং নিঃসৃত ফটো-ইলেকট্রনের সর্বোচ্চ গতিশক্তি নির্ণয় করো। $(h = 6.63 \times 10^{-27} \text{ erg-s})$ [Ans. (i) 3.25 eV (ii) 1.5 eV]
9. $7.5 \times 10^{14} \text{ Hz}$ কম্পাঙ্কের বিকিরণ কোনো ধাতবপৃষ্ঠে আপতিত হলে সর্বাধিক গতিশক্তি $1.6 \times 10^{-19} \text{ J}$ সহ ইলেকট্রন নির্গত হয়। ঐ ধাতবপৃষ্ঠ হতে ইলেকট্রন নির্গমনের উপযুক্ত বিকিরণের সর্বনিম্ন কম্পাঙ্ক কত হবে ? $h = 6.6 \times 10^{-34} \text{ J-s}$. [Ans. $5.1 \times 10^{14} \text{ Hz}$]
10. সোডিয়াম ধাতুপৃষ্ঠ থেকে ইলেকট্রন নিঃসরণের জন্য প্রয়োজনীয় শক্তি 2.3 eV ; কমলাবর্ণের আলো $(\lambda = 6800 \text{ Å}^\circ)$ কী সোডিয়াম ধাতুতে আলোকতড়িৎ ক্রিয়া সৃষ্টি করবে ? $h = 6.6 \times 10^{-27} \text{ erg-s}$ এবং $1 \text{ eV} = 1.6 \times 10^{-12} \text{ erg}$. [Ans. সৃষ্টি করবে না]
 $[সংকেত : \text{কমলা বর্ণের আলোক ফোটনের শক্তি} = \frac{hc}{\lambda} = \frac{6.6 \times 10^{-27} \times 3 \times 10^{10}}{6800 \times 10^{-8}} \text{ erg} = 1.826 \text{ eV}]$
11. 5500 Å° তরঙ্গদৈর্ঘ্যের আলোর বেলায় একটি ধাতুর কার্য অপেক্ষক 1.2 eV । ঐ ধাতুর নিবৃতি বিভব নির্ণয় করো। $h = 6.6 \times 10^{-34} \text{ J-s}$; $e = 1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$, $1 \text{ eV} = 1.6 \times 10^{-19} \text{ J}$. [Ans. 1.05 V]

12. $3 \times 10^{-8} \text{ m}$ তরঙ্গদৈর্ঘ্যের অতিবেগুনি আলো সোডিয়াম ধাতু থেকে আলোকজ ইলেকট্রন নির্গত করে। সোডিয়ামের কার্য-অপেক্ষক অতি সামান্য হলে নির্গত ইলেকট্রনের গতিবেগ নির্ণয় করো। ইলেকট্রনের ভর $= 9.1 \times 10^{-31} \text{ kg}$; $h = 6.6 \times 10^{-34} \text{ J-s}$.
[Ans. $3.8 \times 10^8 \text{ ms}^{-1}$]

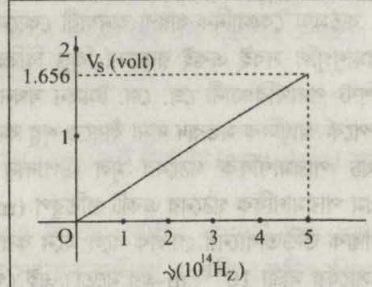
13. একটি ধাতব তলকে পরপর $0.35 \mu\text{m}$ এবং $0.54 \mu\text{m}$ তরঙ্গদৈর্ঘ্যের আলো দ্বারা উদ্ভাসিত করলে যে ইলেকট্রন প্রবাহ পাওয়া যায় তাদের সর্বাধিক গতিবেগের অনুপাত 2 : 1. এ তলের কার্য অপেক্ষক ইলেকট্রন-ভোল্টে নির্ণয় করো।
[Ans. 1.875 eV]

$$[\text{সংকেত : } \frac{1}{2}mv_1^2 = h\nu_1 - \phi \text{ এবং } \frac{1}{2}mv_2^2 = h\nu_2 - \phi]$$

$$\therefore \frac{v_1^2}{v_2^2} = \frac{h\nu_1 - \phi}{h\nu_2 - \phi} \text{ অথবা, } 4 = \frac{(hc/\lambda_1) - \phi}{(hc/\lambda_2) - \phi} \therefore \phi = \frac{h}{3} \left(\frac{4c}{\lambda_2} - \frac{c}{\lambda_1} \right)$$

14. একটি আলোকরশ্মিগুচ্ছের ভিতর 4144\AA , 4972\AA এবং 6216\AA তরঙ্গদৈর্ঘ্যের তিনটি তরঙ্গ আছে। গুচ্ছের মোট তীব্রতা $3.6 \times 10^{-3} \text{ Wm}^{-2}$ তিনটি তরঙ্গের ভিতর সমভাবে বন্টিত। ঐ রশ্মিগুচ্ছ 2.3 eV কার্য-অপেক্ষকযুক্ত একটি পরিষ্কার ধাতব তলের 1 cm^2 ক্ষেত্রফলে লম্বভাবে আপতিত হল। প্রত্যেক ফোটন একটি ইলেকট্রন নিঃসরণের উপযুক্ত শক্তি সমন্বিত ধরে নিলে 2 সেকেন্ডে ঐ তল থেকে নিঃসৃত ইলেকট্রন সংখ্যা নির্ণয় করো। প্রতিফলন দ্বারা আলো নষ্ট হয়নি ধরে নাও।
[Ans. 1.1×10^{12} (প্রায়)]

15. 2.2×10^{15} কম্পাঙ্কযুক্ত আলো কোনো ধাতব প্লেটে পড়লে, যে ইলেকট্রন নিঃসরণ হয় তাকে সম্পূর্ণরূপে বাধা দিতে 6.6 V নিবৃতি বিভব প্রয়োজন। আবার, 4.6×10^{15} কম্পাঙ্কের আলো ব্যবহার করলে, প্রয়োজনীয় নিবৃতি বিভব হয় 16.5 V ; এ থেকে প্ল্যাঙ্ক ধ্রুবক h -এর মান নির্ণয় করো। $e = 1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$.
[Ans. $6.6 \times 10^{-34} \text{ J-s}$]



চিত্র 3.6

$$[\text{সংকেত : } e \cdot (V_s)_1 = h\nu_1 - \phi; \text{ এবং } e \cdot (V_s)_2 = h\nu_2 - \phi;]$$

$$\therefore e[(V_s)_1 - (V_s)_2] = h(\nu_1 - \nu_2)$$

$$\therefore h = e[(V_s)_1 - (V_s)_2]/(\nu_1 - \nu_2)$$

16. একটি আলোর তড়িৎ পরীক্ষায় ব্যবহৃত আলোর কম্পাঙ্ক এবং নিবৃতি বিভবের লৈখিক সম্পর্ক দেখানো হয়েছে চিত্র 3.6। $\frac{h}{e}$ অনুপাত এবং কার্য অপেক্ষক নির্ণয় কর।
[Ans. 4.14×10^{-15} ; 0.414 eV]

□ M.C.Q. প্রশ্নের উত্তর □

(A)

(i) C	(vi) D	(xi) C	(xvi) A	(xxi) B	(xxvi) C
(ii) B	(vii) B	(xii) C	(xvii) A,C,D	(xxii) D	(xxvii) A
(iii) C	(viii) B	(xiii) C	(xviii) B	(xxiii) B	
(iv) B	(ix) D	(xiv) C	(xix) A	(xxiv) C	
(v) B	(x) A	(xv) C	(xx) B	(xxv) D	

(B) [i] কম্পাঙ্ক, [ii] তীব্রতা, [iii] তীব্রতা, কম্পাঙ্ক; [iv] শক্তি; [v] $\frac{h}{2mk}$; [vi] কম।

(C) [i] নির্ভুল, [ii] ভুল, [iii] নির্ভুল, [iv] ভুল, [v] নির্ভুল, [vi] নির্ভুল।



বোর তত্ত্ব ও এক্সরশ্মি

[BOHR'S THEORY AND X-RAY]

4.1. পদার্থের পারমাণবিক গঠন (Atomic structure of matter)

বর্তমান বৈজ্ঞানিক ধারণা অনুযায়ী কোনো মৌল অসংখ্য পরমাণু দ্বারা গঠিত। কোনো বিশেষ মৌলের পরমাণুগুলি সবই একই রকমের কিন্তু বিভিন্ন মৌলের পরমাণুগুলি সর্ব বিষয়ে বিভিন্ন। 1897 খ্রিস্টাব্দে বিশিষ্ট পদার্থবিজ্ঞানী জে. জে. টমসন যখন ইলেকট্রন আবিষ্কার করেন তখন থেকেই পারমাণবিক গঠন সম্পর্কে আধুনিক মতবাদ দানা বাঁধতে শুরু করেছিল। সাধারণ অবস্থায় একটি গোটা পরমাণু সর্বদা নিষ্কর্তিত অথচ পারমাণবিক গঠনের মূল উপাদান ইলেকট্রন ঋণাত্মক তড়িৎযুক্ত-এই তথ্য থেকে টমসন প্রথম পারমাণবিক গঠনের একটি প্রতিকল্প (model) প্রস্তাব করেন। এই প্রতিকল্প অনুযায়ী পরমাণুকে একটি ধনাত্মক তড়িতাধানের গোলক বলে মনে করা হয়, যে-গোলকের ব্যাসার্ধ পরমাণুর ব্যাসার্ধের সমান। এই ব্যাসার্ধের মাত্রা 10^{-10} m-এর মতো। এই গোলকের ভিতরে ইলেকট্রনগুলি এমনভাবে সাজানো আছে যে তাদের পারস্পরিক বিকর্ষণ বল তাদের ঋণাত্মক তড়িত এবং পরমাণুর ধনাত্মক তড়িতের ভিতর আকর্ষণ বলের সমান। ইলেকট্রনগুলি অবশ্য স্থির থাকে না। তারা নির্দিষ্ট কম্পাঙ্কে স্পন্দিত হতে থাকে। পরমাণু গঠনের এই প্রতিকল্পকে বলা হয় টমসন মডেল।

পরবর্তীকালে লর্ড রাদারফোর্ড তেজস্ক্রিয় বস্তু নিঃসৃত আলফা কণার বিক্ষেপ (scattering) সংক্রান্ত যে পরীক্ষা করেন সেই পরীক্ষার ফলাফল থেকে দেখা যায় যে পরমাণুর সমব্যাসার্ধযুক্ত যে ধনাত্মক তড়িতের গোলক টমসন অনুমান করেছিলেন তা গ্রহণযোগ্য নয়। রাদারফোর্ডের পরীক্ষার ফলাফল নির্দেশ করে যে ধনাত্মক তড়িৎ পরমাণুর কেন্দ্রে খুব অল্প পরিসরে জমা করা আছে—সমগ্র পরমাণুর আয়তনে ছড়ানো নেই। ধনাত্মক আধানবাহী অংশের ব্যাসার্ধের মান 10^{-14} m অথবা আরও কম। অর্থাৎ সমগ্র পরমাণুর ব্যাসার্ধের দশ হাজার ভাগের এক ভাগ।

এই কারণে 1911 খ্রিস্টাব্দে রাদারফোর্ড পারমাণবিক গঠনের আর একটি প্রতিকল্প প্রস্তাব করেন। এই প্রতিকল্পে পারমাণবিক গঠনকে সৌরজগতের গঠনের সঙ্গে তুলনা করে বলা হল যে, পরমাণুর কেন্দ্রস্থলে যে অল্পপরিসরে ধনাত্মক তড়িৎ জমা করা আছে—যার নাম তিনি দিলেন কেন্দ্রক বা নিউক্লিয়াস—তা সৌরজগতের সূর্যের ভূমিকা পালন করে। সূর্যের চতুর্দিকে যেমন গ্রহগুলি নিজস্ব কক্ষপথে আবর্তন করে, পরমাণুর ইলেকট্রনগুলিও তেমন নিউক্লিয়াসের চতুর্দিকে একটি বিশেষ সজ্জায় সজ্জিত কক্ষপথে আবর্তন করে। এইভাবে রাদারফোর্ড পারমাণবিক গঠনের যে প্রতিকল্প প্রস্তাব করেন তাকে নিউক্লীয় প্রতিকল্প (nuclear model) বলা হয়। এর দুটি অংশ (i) পরমাণুর নিউক্লিয়াস যার আয়তন সমগ্র পরমাণুর আয়তনের তুলনায় অতি নগণ্য এবং যার ভিতর পরমাণুর পজিটিভ তড়িৎ ও প্রায় সমস্ত ভর কেন্দ্রীভূত আছে এবং (ii) নিউক্লিয়াসের চতুর্দিকে নেগেটিভ তড়িৎযুক্ত আবর্তনশীল ইলেকট্রন।

4.2. বোর তত্ত্বের সূত্রপাত (Introduction of Bohr's theory)

রাদারফোর্ডের পরীক্ষা হতে জানা যায় যে পরমাণুর অভ্যন্তরে একটি অতি ক্ষুদ্র আয়তনযুক্ত নিউক্লিয়াসের অস্তিত্ব আছে যার ভিতর পরমাণুর সমস্ত ভর এবং পজিটিভ তড়িৎ কেন্দ্রীভূত। এছাড়া পরমাণুর ভিতর

বেশির ভাগ জায়গাই শূন্য এবং ঐ শূন্যের মধ্যে ইলেকট্রনগুলি নিউক্লিয়াসের চতুর্দিকে আবর্তন করে। কিন্তু রাদারফোর্ডের ঐ পারমাণবিক মডেলে কতকগুলি মারাত্মক দুর্বলতা ধরা পড়ল। ম্যাক্সওয়েলের তড়িৎ চুম্বকীয় তত্ত্ব অনুসারে যখন কোনো তড়িৎচালিত তরঙ্গগতিতে গতিশীল হয় তখন তা থেকে তড়িচ্চুম্বকীয় তরঙ্গ নিঃসৃত হতে থাকে। পরমাণুর ইলেকট্রনগুলি নিউক্লিয়াসের চতুর্দিকে আবর্তিত হতে থাকলে, নিউক্লিয়াসের অভিমুখে এদের যে অভিকেন্দ্রিক ত্বরণ উৎপন্ন হবে তার ফলে, ঐ ইলেকট্রনগুলি ক্রমাগত শক্তি বিকিরণ করবে। ঐ বিকিরণের দরুন ক্রমাগত শক্তিক্ষয় হতে থাকলে, ইলেকট্রন-কক্ষপথের ব্যাসার্ধ ক্রমশ হ্রাস পাবে এবং শেষপর্যন্ত ইলেকট্রনগুলি নিউক্লিয়াসের ওপর এসে পড়বে এবং বিলীন হয়ে যাবে। ফলে পারমাণবিক গঠন নষ্ট হয়ে যাবে। তাছাড়া নিরবচ্ছিন্নভাবে শক্তি বিকিরণ করলে তা যে-বর্ণালী সৃষ্টি করবে তা নিরবচ্ছিন্ন বর্ণালী (continuous spectrum) হবে। কিন্তু পরীক্ষা করে দেখা যায় যে পরমাণুগুলি রেখা বর্ণালী (line spectrum) তৈরি করে এবং ঐ রেখাগুলি বিচ্ছিন্ন। রাদারফোর্ড প্রস্তাবিত পারমাণবিক গঠনপ্রকল্পকে সনাতন পদার্থ বিজ্ঞান অনুযায়ী বিচার করলে উক্ত দুটি সমস্যার সম্মুখীন হতে হয়। ঐ সমস্যার সমাধান করেন ডেনমার্কের বিশিষ্ট বিজ্ঞানী নীলস বোর।

● বোরের স্বীকার্য (Bohr's postulates) :

পারমাণবিক গঠন সম্পর্কিত উপরোক্ত সমস্যা সমাধানের জন্য বোর তিনটি স্বীকার্যের (postulate) সহায়তা নিলেন। স্বীকার্যগুলি নিম্নরূপ :

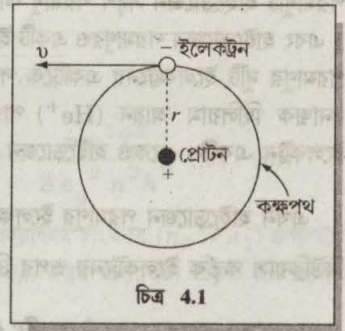
(i) পরমাণুর ভিতর ইলেকট্রন শক্তি বিকিরণ না করেও বিশেষ শর্তাধীন কয়েকটি বন্ধ কক্ষপথে পরিভ্রমণ করতে সক্ষম, যদিও ঐ সকল কক্ষপথে তার গতি সনাতন বলবিদ্যা এবং স্থির তড়িৎ-বিজ্ঞানের সাধারণ নিয়ম দ্বারা ই নিয়ন্ত্রিত হবে।

(ii) পরমাণুর ইলেকট্রন কতকগুলি মঞ্জুরীকৃত (permissible) অথবা বিশেষ শর্তাধীন কক্ষপথে পরিভ্রমণ করবে — অর্থাৎ পরমাণুগুলি কয়েকটি বিশেষ অবস্থায় থাকবে — যে অবস্থোগুলিকে বলা হয় ‘স্থায়ী’ অবস্থা (stationary state)। যে সকল মঞ্জুরীকৃত বা বিশেষ সুবিধাযুক্ত (privileged) কক্ষপথে ইলেকট্রন শক্তি বিকিরণ না করে পরিভ্রমণ করতে পারে সেই সকল স্থায়ী কক্ষপথে ইলেকট্রনের কৌণিক ভরবেগ হবে $h/2\pi$ সংখ্যাটির পূর্ণ গুণিতক। h প্র্যাঙ্ক ধ্রুবসংখ্যা।

(iii) কোনো স্থায়ী কক্ষপথ হতে অপর কোনো স্থায়ী কক্ষপথে যদি ইলেকট্রনের সংক্রমণ (transition) ঘটে তবেই পরমাণু শক্তি বিকিরণ বা শোষণ করবে। ঐ শক্তির পরিমাণ হবে $h\nu$; ν = বিকিরণের কম্পাঙ্ক।

স্বীকার্যগুলির ব্যাখ্যা :

বোরের তত্ত্বানুযায়ী নিউক্লিয়াসকে বেষ্টন করে ইলেকট্রন ইচ্ছামত যে-কোনো কক্ষপথে আবর্তন করতে পারে না। সনাতন বলবিদ্যা অনুযায়ী ইলেকট্রন নিউক্লিয়াসকে কেন্দ্র করে যে-কোনো বৃত্তাকার কক্ষপথে আবর্তিত হতে পারে। অর্থাৎ সনাতন পদার্থ বিজ্ঞানের নিয়মকানুন ক্ষুদ্রাতিক্ষুদ্র পারমাণবিক জগতে প্রযোজ্য নয়। কতকগুলি নির্দিষ্ট কক্ষপথ আছে যেগুলিতে ইলেকট্রন আবর্তন করলে ইলেকট্রনের শক্তি অক্ষুণ্ণ থাকবে — শক্তির কোনো বিকিরণ হবে না। বোরের ঐ মতবাদকে বলা হয় ‘কোয়ান্টাম শর্ত’।



পরমাণুর রাজ্যে সর্বাপেক্ষা সহজতম পরমাণু হল হাইড্রোজেন পরমাণু। এতে আছে একটি মাত্র ইলেকট্রন এবং একটি পজিটিভ তড়িৎবাহী প্রোটন দ্বারা গঠিত নিউক্লিয়াস। হাইড্রোজেন পরমাণু ক্ষেত্রে বোর তাঁর দ্বিতীয় স্বীকার্য প্রয়োগ করে বললেন যে, শক্তি অক্ষুণ্ণ রেখে হাইড্রোজেন পরমাণুর ইলেকট্রনটি যে সকল নির্বাচিত কক্ষপথে আবর্তন করবে ঐ সকল কক্ষপথে

আবর্তনকালে ইলেকট্রনের কৌণিক ভরবেগ একটি ধ্রুবসংখ্যার পূর্ণ গুণিতক হবে। কোনো একটি কক্ষপথের ব্যাসার্ধ r , ঐ কক্ষপথে ইলেকট্রনের গতিবেগ v এবং ইলেকট্রনের ভর m হলে, (চিত্রে 4.1) বোরের দ্বিতীয় প্রস্তাব অনুযায়ী, $mv r = n \frac{h}{2\pi}$ [h = প্ল্যাঙ্ক ধ্রুবক] $n = 1, 2, 3$, ইত্যাদি হতে পারে। এরা প্রথম, দ্বিতীয়, তৃতীয় ইত্যাদি স্থায়ী কক্ষপথগুলি নির্দেশ করে। n -কে বলা হয় কক্ষপথের মুখ্য কোয়ান্টাম সংখ্যা। এই শর্ত প্রয়োগ করে কোনো একটি কক্ষপথে ইলেকট্রনের মোট শক্তি হিসাব করলে দেখা যায় এই শক্তিও কতকগুলি সুনির্দিষ্ট মান পায়; ধারাবাহিক মান পায় না।

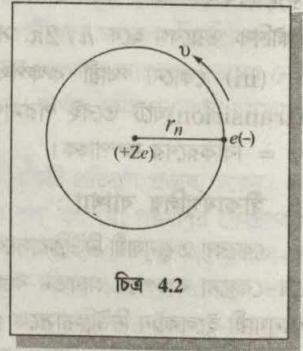
বোর তাঁর তৃতীয় স্বীকার্যে বললেন যে, বহিস্থ শক্তি প্রয়োগের দ্বারা পরমাণুর ইলেকট্রনকে উদ্দীপিত (excite) করা সম্ভব। এইরূপ উদ্দীপনার ফলে একটি ইলেকট্রন অপেক্ষাকৃত স্বল্প শক্তিবিশিষ্ট কক্ষপথ হতে অপেক্ষাকৃত বেশি শক্তিবিশিষ্ট কক্ষপথে সংক্রমিত হবে। এই প্রক্রিয়ায় পরমাণু বাইরের শক্তি-উৎস হতে ঐ অতিরিক্ত পরিমাণ শক্তি শোষণ (absorption) করে সংক্রমিত হয়। আবার, বিপরীত প্রক্রিয়াও ঘটতে পারে—অর্থাৎ, একটি উদ্দীপিত পরমাণুর ইলেকট্রন কোনো অধিক শক্তিসমন্বিত কক্ষপথ হতে কোনো স্বল্পতর শক্তি সমন্বিত কক্ষপথেও সংক্রমিত হতে পারে। তখন, ঐ পরমাণু অতিরিক্ত শক্তি তড়িৎ চুম্বকীয় শক্তির আকারে বিকিরণ করবে। তরঙ্গদৈর্ঘ্য অনুযায়ী ঐ বিকিরণ দৃশ্যমান আলোকরশ্মি, অতিবেগুনি এমনকি এক্সরশ্মিও হতে পারে। বোরের তৃতীয় প্রস্তাবানুসারে শোষিত বা বিকীর্ণ শক্তির কম্পাঙ্ক নিম্নলিখিত সমীকরণ হতে পাওয়া যাবে :

$$E_2 - E_1 = h\nu.$$

এস্থলে, E_1 এবং E_2 হবে কক্ষপথ দুটিতে ইলেকট্রনের মোট শক্তির পরিমাণ, ν শোষিত বা বিকীর্ণ শক্তির কম্পাঙ্ক এবং h প্ল্যাঙ্ক ধ্রুবক। একে বোরের কম্পাঙ্ক শর্ত (frequency condition) বলা হয়।

● হাইড্রোজেন বর্ণালী সম্পর্কিত বোর তত্ত্ব :

আমরা বোরের স্বীকার্যগুলি হাইড্রোজেন পরমাণুর ক্ষেত্রে প্রয়োগ করে দেখব কিভাবে বোর হাইড্রোজেন পরমাণু কর্তৃক গঠিত রেখাবর্ণালীর তরঙ্গদৈর্ঘ্য নির্ণয় করেছিলেন। ধরো, আমরা একটি পরমাণুর কথা বিবেচনা করি যার পারমাণবিক সংখ্যা Z অর্থাৎ ঐ পরমাণুর নিউক্লিয়াসে Ze পরিমাণ পজিটিভ তড়িতাধান আছে এবং তাকে কেন্দ্র করে r_n ব্যাসার্ধের n^{th} বৃত্তাকার কক্ষপথে e পরিমাণ নেগেটিভ তড়িৎপ্রস্তু একটি ইলেকট্রন পরিভ্রমণ করছে (চিত্র 4.2)। ঐ পরমাণুটি হাইড্রোজেন সদৃশ পরমাণু কারণ হাইড্রোজেনের ক্ষেত্রে $Z = 1$ এবং হাইড্রোজেন পরমাণুরও একটি ইলেকট্রন আছে। এইরূপ হিলিয়াম পরমাণুর দুটি ইলেকট্রনের একটিকে পরমাণু থেকে বিচ্ছিন্ন করলে যে ধনাত্মক হিলিয়াম আয়ন (He^+) পাওয়া যাবে তার $Z = 2$ কিন্তু ইলেকট্রন একটি। একেও হাইড্রোজেন সদৃশ পরমাণু বলা যাবে।



চিত্র 4.2

এখন হাইড্রোজেন পরমাণুর ইলেকট্রনের ওপর ক্রিয়াশীল অভিকেন্দ্র বল $= \frac{mv^2}{r_n}$; ঐ বল আসে নিউক্লিয়াস কর্তৃক ইলেকট্রনের ওপর ক্রিয়াশীল স্থির তড়িতিক আকর্ষণ (electrostatic attraction)

$$\text{থেকে। ঐ আকর্ষণ বল} = \frac{Ze \cdot e}{4\pi \epsilon_0 r_n^2} = \frac{Z \cdot e^2}{4\pi \epsilon_0 r_n^2}$$

$$\therefore \frac{mv_n^2}{r_n} = \frac{Ze^2}{4\pi \epsilon_0 r_n^2} \text{ অথবা } mv_n^2 = \frac{Ze^2}{4\pi \epsilon_0 r_n} \dots (i)$$

বোরের দ্বিতীয় স্বীকার্য অনুযায়ী $m v_n r_n = \frac{nh}{2\pi}$ অথবা $v_n = \frac{nh}{2\pi m r_n}$ [$v_n = n^{\text{th}}$ কক্ষপথে ইলেকট্রনের গতিবেগ]

$$(i) \text{ নং সমীকরণে এই মান বসালে পাই, } m \left(\frac{nh}{2\pi m r_n} \right)^2 = \frac{Ze^2}{4\pi \epsilon_0 r_n}$$

$$\text{অথবা } r_n = \frac{\epsilon_0 n^2 h^2}{\pi m Ze^2} \dots (ii)$$

এই সমীকরণে n -এর 1, 2, 3 ইত্যাদি পূর্ণসংখ্যার মান বসালে আমরা বিভিন্ন কোয়ান্টায়িত (quantised) কক্ষপথের ব্যাসার্ধ পাব। হাইড্রোজেনের ক্ষেত্রে $Z = 1$ এবং $n = 1$ বসালে আমরা হাইড্রোজেন পরমাণুর প্রথম বোর কক্ষপথের ব্যাসার্ধ (r_1) পাই। $r_1 = 53 \times 10^{-12} \text{ m}$ । এই দৈর্ঘ্যকে বোর ব্যাসার্ধ (Bohr radius) বলা হয়। এটাকে সাধারণত r_B প্রতীক দ্বারা বোঝানো হয়। তাছাড়া, উল্লিখিত হিসাব হতে আমরা n^{th} কোয়ান্টায়িত কক্ষপথে পরিভ্রমণরত ইলেকট্রনের গতিবেগও নির্ণয় করিতে পারি। এই গতিবেগ

$$v_n \text{ ধরলে } v_n = \frac{nh}{2\pi m r_n} = \frac{nh}{2\pi m} \times \frac{\pi m Ze^2}{\epsilon_0 n^2 h^2} = \frac{Ze^2}{2 \epsilon_0 nh}$$

বিকিরণের তরঙ্গদৈর্ঘ্য :

এবার আমরা বোরের তৃতীয় স্বীকার্য প্রয়োগ করে পরমাণু কর্তৃক বিকীর্ণ বর্ণালী রেখার তরঙ্গদৈর্ঘ্য হিসাব করব।

r_n ব্যাসার্ধের কক্ষপথে পরিভ্রমণ করার সময় ইলেকট্রনের অংশত স্থিতিশক্তি এবং অংশত গতিশক্তি থাকে। স্থিতিশক্তির সংজ্ঞা হতে আমরা লিখতে পারি,

$$E_p = \int_{r_n}^{\infty} \frac{Ze^2}{4\pi \epsilon_0 x^2} dx = -\frac{Ze^2}{4\pi \epsilon_0 r_n}; \text{ নেগেটিভ চিহ্ন হতে বোঝা যায় যে ইলেকট্রনকে}$$

নিউক্লিয়াস থেকে বহুদূরে শূন্য শক্তি স্তরে নিয়ে যেতে গেলে পরমাণুকে শক্তি সরবরাহ করতে হবে।

$$\text{ইলেকট্রনের গতিশক্তি } E_k = \frac{1}{2} m v_n^2 = \frac{Ze^2}{8\pi \epsilon_0 r_n} \text{ [(i) সমীকরণ থেকে]}$$

অতএব r_n ব্যাসার্ধের কক্ষপথে ইলেকট্রনের মোট শক্তি

$$E_n = E_p + E_k = -\frac{Ze^2}{4\pi \epsilon_0 r_n} + \frac{Ze^2}{8\pi \epsilon_0 r_n} = -\frac{Ze^2}{8\pi \epsilon_0 r_n}$$

$$(ii) \text{ নং সমীকরণ থেকে } r_n \text{-এর মান বসালে পাই, } E_n = -\frac{me^4 Z^2}{8 \epsilon_0^2 n^2 h^2} \dots (iii)$$

যখন ইলেকট্রন n_2 কোয়ান্টাম সংখ্যার কক্ষপথ থেকে n_1 কোয়ান্টাম সংখ্যার ($n_2 > n_1$) কক্ষপথে সংক্রমণ করে তখন বোরের তৃতীয় স্বীকার্য অনুসারে দুই কক্ষপথের শক্তির অন্তরফল একটি $h\nu$ শক্তির ফোটন হিসাবে বিকীর্ণ হয়। অতএব, $E_{n_2} - E_{n_1} = h\nu$

$$\text{অথবা, } \frac{me^4 Z^2}{8 \epsilon_0^2 h^2} \left[\frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2} \right] = h\nu.$$

$$\text{অথবা, } \frac{1}{\lambda} = \frac{me^4 Z^2}{8\epsilon_0^2 ch^3} \left[\frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2} \right] \left[\because v = \frac{c}{\lambda} \right]$$

হাইড্রোজেন পরমাণুর বেলায় $Z = 1$; কাজেই,

$$\frac{1}{\lambda} = \frac{me^4}{8\epsilon_0^2 ch^3} \left[\frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2} \right] = R_H \left(\frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2} \right) \dots\dots (iv)$$

এখানে $R_H = \frac{me^4}{8\epsilon_0^2 ch^3}$ = একটি ধ্রুবসংখ্যা। একে বলে রিডবার্গ ধ্রুবসংখ্যা।

বর্ণালী শ্রেণির উৎপত্তি (Origin of spectral lines)

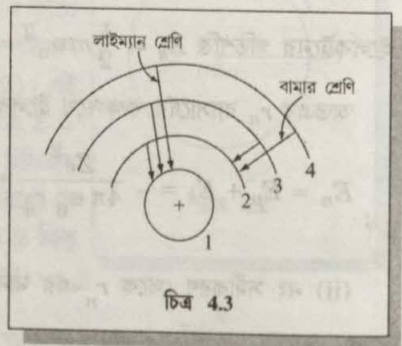
(iv) নং সমীকরণ থেকে আমরা হাইড্রোজেন কর্তৃক উৎপন্ন বর্ণালী শ্রেণির ব্যাখ্যা পেতে পারি। বোরতত্ত্ব প্রতিষ্ঠার বহু পূর্বে কয়েকজন বিজ্ঞানী পরীক্ষার মাধ্যমে দেখেছিলেন যে হাইড্রোজেন বর্ণালীরেখার তরঙ্গদৈর্ঘ্যগুলিকে কয়েকটি শ্রেণিতে (series) সাজানো যায়। বিভিন্ন শ্রেণির আবিষ্কারের নাম অনুযায়ী এই শ্রেণিগুলির নামকরণ করা হয়েছে। শ্রেণিগুলি নিম্নরূপ :

1. লাইম্যান শ্রেণি $\rightarrow \frac{1}{\lambda} = R_H \left(\frac{1}{1^2} - \frac{1}{n^2} \right)$ [$n = 2, 3, 4 \dots$] [অতিবেগুনি অঞ্চলে]

2. বামার শ্রেণি $\rightarrow \frac{1}{\lambda} = R_H \left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{n^2} \right)$ [$n = 3, 4, 5 \dots$] [দৃশ্যমান অঞ্চলে]

3. পাশেন শ্রেণি $\rightarrow \frac{1}{\lambda} = R_H \left(\frac{1}{3^2} - \frac{1}{n^2} \right)$ ইত্যাদি [$n = 4, 5 \dots$] [অবলোহিত অঞ্চলে]

R_H ধ্রুবসংখ্যাকে বলা হয় রিডবার্গ ধ্রুবসংখ্যা (Rydberg constant) এবং n একটি অখণ্ড সংখ্যা (integer)। বোর সমীকরণ [(iv) নং সমীকরণ] হতে দেখা যায় যে $n_1 = 1, 2, 3 \dots$ ইত্যাদি এবং $n_2 = n$ হলে, আমরা বোর সমীকরণ থেকে হাইড্রোজেন বর্ণালীর বিভিন্ন শ্রেণির তরঙ্গদৈর্ঘ্য পাই। অর্থাৎ এক কক্ষপথ হতে অন্য কক্ষপথে হাইড্রোজেন পরমাণুর ইলেকট্রনের সংক্রমণ হলে বিভিন্ন শ্রেণির রেখা বর্ণালীর উৎপত্তি হয় [চিত্র 4.3]। তা ছাড়া, তরঙ্গদৈর্ঘ্যগুলির পরীক্ষালব্ধ মান এবং বোর সমীকরণ থেকে প্রাপ্ত তত্ত্বগত (theoretical) মান সুন্দর মিলে যায়।



চিত্র 4.3

দ্বিতীয়ত,

পরীক্ষা

থেকে পাওয়া রিডবার্গ ধ্রুবকের মান এবং বোর সমীকরণ থেকে পাওয়া তত্ত্বগত মানও

$$\left(R_H = \frac{me^4}{8\epsilon_0^2 ch^3} \right) \text{ অবিকল মিলে যায়। রিডবার্গ ধ্রুবসংখ্যার মান } 1.0973 \times 10^7 \text{ m}^{-1}.$$

পরমাণু সম্পর্কিত বোরের এই তত্ত্ব থেকে হাইড্রোজেন পরমাণু কর্তৃক বিকীর্ণ রেখা বর্ণালী (line spectrum) এবং অন্যান্য আনুষঙ্গিক ঘটনাবলির ব্যাখ্যা পাওয়ার সঙ্গে সঙ্গে এই তত্ত্ব বিজ্ঞানীদের দ্বারা গৃহীত হল।

এস্থলে উল্লেখযোগ্য যে, যদিও হাইড্রোজেন পরমাণুতে মাত্র একটি ইলেকট্রন আছে তথাপি হাইড্রোজেন পরমাণুকে উদ্দীপিত করলে আমরা একটির পরিবর্তে অনেকগুলি বর্ণালী রেখা দেখতে পাই। এর কারণ কী? একথা মনে রাখা প্রয়োজন যে, আমরা যখন কিছু পরিমাণ হাইড্রোজেন গ্যাস নিয়ে উদ্দীপিত (excited) করি তখন ঐ গ্যাসের কোটি কোটি পরমাণু উদ্দীপিত হয়; এই পরমাণুগুলির সব ইলেকট্রন উদ্দীপনার উৎস (source of excitement) হতে সমপরিমাণ শক্তি শোষণ করে না। শোষিত শক্তি অনুযায়ী তারা বিভিন্ন শক্তি সমন্বিত কক্ষপথে চলে যায় এবং পুনরায় স্বাভাবিক কক্ষপথে ফিরে আসার সময় বিভিন্ন পরিমাণ শক্তি বিকিরণ করে। তাছাড়া উদ্দীপিত পরমাণুর সব ইলেকট্রনগুলি বিভিন্ন শক্তি সমন্বিত কক্ষপথ হতে সরাসরি স্বাভাবিক কক্ষপথে না ফিরে প্রথমে নিম্নতর শক্তির কক্ষপথে এসে পরে স্বাভাবিক কক্ষপথে আসতেও পারে। এই সকল কারণে আমরা হাইড্রোজেন বর্ণালীতে বিভিন্ন কম্পাঙ্কের বা তরঙ্গদৈর্ঘ্যের একাধিক রেখা দেখতে পাই।

● বোর তত্ত্বের সীমাবদ্ধতা (Limitations of Bohr theory) :

বর্ণালী রেখার উৎপত্তি এবং পরমাণুর স্থায়িত্ব ব্যাখ্যা করার চমকপ্রদ সাফল্য অর্জন করলেও বোর তত্ত্বের কিছু সীমাবদ্ধতা লক্ষ্য করা যায়। প্রথমত, উপবৃত্তাকার পথে পরিভ্রমণের সম্ভাবনা থাকা সত্ত্বেও কেন ইলেকট্রন বৃত্তাকার পথে পরিভ্রমণ করে, তার কোন সন্তোষজনক উত্তর বোর তত্ত্ব থেকে পাওয়া যায় না। এথেকে বোঝা যায়, তত্ত্বটি সার্বিক এবং স্বয়ংসম্পূর্ণ নয়। দ্বিতীয়ত, হাইড্রোজেন পরমাণুর কয়েকটি বর্ণালী রেখা একক রেখা নয় ; শক্তির সামান্য তফাৎসহ কয়েকটি রেখার ঘন সন্নিবেশ। বোর তত্ত্ব হাইড্রোজেন পরমাণু বর্ণালীর উক্ত ‘সূক্ষ্ম গঠন’ (fine structure) ব্যাখ্যা করতে সমর্থ হয়নি।

(i) বোর তত্ত্বের নিম্নলিখিত আরও কয়েকটি অসঙ্গতি দেখতে পাওয়া যায় : (i) এই তত্ত্ব কেবলমাত্র হাইড্রোজেনের ন্যায় সরল পরমাণু বর্ণালী ব্যাখ্যা করে ; পরমাণুতে একাধিক ইলেকট্রন থাকলে তার বর্ণালী ব্যাখ্যাতে বোরতত্ত্ব সম্পূর্ণ অপারগ।

(ii) পরমাণু নিঃসৃত বর্ণালী রেখাগুলির তুলনামূলক তীব্রতা (intensity) কত তা বোর তত্ত্ব থেকে জানা যায় না।

(iii) ইলেকট্রনের তরঙ্গধর্ম সম্বন্ধে কোন কারণ বোরতত্ত্ব দেখাতে পারে না।

(iv) ইলেকট্রন কোনো শক্তিস্তরে কতক্ষণ যাবৎ অতিবাহিত করবে তার কোন ধারণা বোর তত্ত্ব থেকে পাওয়া যায় না।

4.3.

হাইড্রোজেন পরমাণুর শক্তিস্তর (Energy levels in hydrogen atom) :

পূর্বে উল্লেখ করা হয়েছে যে হাইড্রোজেন পরমাণুতে বিভিন্ন শক্তিস্তরের কক্ষপথ থাকতে পারে। 4.2 অনুচ্ছেদের (iii) নং সমীকরণ থেকে n th কোণ্টায়িত কক্ষপথের শক্তির যে রাশিমালা আমরা পাই তা

$$E_n = - \frac{me^4}{8\epsilon_0^2 h^2 \cdot n^2} \quad (\text{হাইড্রোজেনের বেলায় } Z = 1)$$

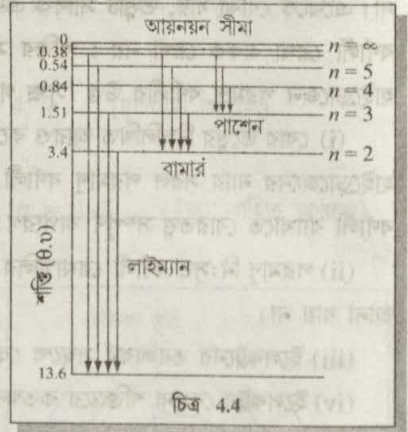
ইলেকট্রনের ভর (m), তড়িৎচার্জ (e) প্রভৃতি ধ্রুবরাশিগুলির মান বসালে এবং শক্তিকে ইলেকট্রন-ভোল্ট এককে প্রকাশ করলে, প্রথম কোয়ান্টায়িত কক্ষপথের ($n = 1$) শক্তি হয় $E_1 = -13.6 \text{ eV}$ । $n = 2, 3$, ইত্যাদি বসালে আমরা অন্যান্য কোয়ান্টায়িত কক্ষপথের শক্তি নির্ণয় করতে পারি। নিম্নে বিভিন্ন কক্ষপথের শক্তির মান দেওয়া হল।

কক্ষপথের কোয়ান্টাম সংখ্যা (n)	শক্তি
1	-13.6 eV
2	-3.4 „
3	-1.5 „
4	-0.85 „
5	-0.54 „
6	-0.38 „
∞	0

এই তালিকা থেকে বোঝা যায় যে ইলেকট্রনকে যদি $(13.6 - 3.4) = 10.2 \text{ eV}$ শক্তি সরবরাহ করা যায় তবে ইলেকট্রন প্রথম কক্ষপথ থেকে দ্বিতীয় কক্ষপথে সংক্রমণ করবে। অনুরূপভাবে যদি $(13.6 - 0) = 13.6 \text{ eV}$ শক্তি সরবরাহ করা হয় তবে এ ইলেকট্রন পরমাণু থেকে বিমুক্ত হবে এবং ধনাত্মক তড়িৎ যুক্ত নিউক্লিয়াস অর্থাৎ, প্রোটন পড়ে থাকবে। এই অবস্থায় পরমাণুকে বলা হয় আয়নিত পরমাণু (ionised atom)।

বর্ণালী গঠন করার জন্য এক কক্ষপথ থেকে অন্য কক্ষপথে কিভাবে ইলেকট্রনের সংক্রমণ হয় তা শক্তিস্তরের চিত্র দ্বারাও বোঝানো যেতে পারে। এই চিত্রে (4.4 নং) পরমাণুর বিভিন্ন শক্তিস্তরকে কতকগুলি

অনুভূমিক রেখা দ্বারা বোঝানো হয়েছে। যে দুই স্তরের ভিতর ইলেকট্রনের সংক্রমণ হয়ে কোনো বিশেষ বর্ণালী রেখা উৎপন্ন হয় তা এই দুই স্তরের ভিতর অভ্যন্তরীণ একটি উল্লম্ব রেখা দ্বারা প্রকাশ করা হয়। উল্লম্ব রেখার তলায় তির চিহ্ন দিয়ে বোঝানো হয় কোন্ শক্তিস্তর থেকে কোন্ শক্তিস্তরে সংক্রমণ ঘটছে। যেমন, বামার শ্রেণির বর্ণালীর প্রথম রেখাটি 1.51 eV শক্তিস্তর থেকে অথবা 3 নং কোয়ান্টাম সংখ্যার কক্ষপথ থেকে 2 নং কোয়ান্টাম সংখ্যার কক্ষপথে ইলেকট্রনের সংক্রমণ হলে গঠিত হবে। বলা বাহুল্য সর্বনিম্ন শক্তিস্তরটি পরমাণুর স্বাভাবিক অবস্থা অথবা অনুদীপ্ত (unexcited or ground state) অবস্থা বোঝায়। উচ্চ শক্তিস্তর থেকে এই স্বাভাবিক স্তরে সংক্রমণ হলে লাইম্যান শ্রেণির বর্ণালী রেখা সৃষ্টি হবে। 4.4 নং চিত্র থেকে দেখা যায় কোয়ান্টাম সংখ্যা n যত বৃদ্ধি পায়, শক্তি স্তরগুলি তত উপরের দিকে এবং পরস্পরের খুব কাছাকাছি চলে আসে। n এর মান যখন খুব উচ্চ, তখন শক্তিস্তরগুলির ব্যবধান বোঝা কঠিন হয়ে পড়ে। যখন $n = \infty$, তখন শক্তির মান হয় শূন্য। স্পর্শিত ইলেকট্রন তখন নিউক্লিয়াস থেকে অসীম দূরত্বে চলে যায় অথবা পরমাণু তখন আয়নিত (ionised) হয়।



4.4.

হাইড্রোজেন পরমাণুর আয়নন শক্তি ও আয়নন বিভব (Ionisation energy and ionisation potential of hydrogen atom) :

হাইড্রোজেন পরমাণুতে একটি মাত্র ইলেকট্রন আছে। বাইরে থেকে শক্তি সরবরাহ করে এ ইলেকট্রনকে যদি পরমাণু হতে অপসারণ করা যায় অর্থাৎ অসীম দূরত্বে নিয়ে যাওয়া হয় তবে পরমাণু আয়নিত হয়। এই শক্তিকে বলা হয় পরমাণুর আয়নন শক্তি। যে বিভবপ্রভেদের ভিতর দিয়ে গেলে একটি ইলেকট্রন উপরোক্ত শক্তি লাভ করে, তাকে আয়নন বিভব (ionisation potential) বলা হয়।

এখন, n_1 কোয়ান্টাম সংখ্যার কক্ষপথ থেকে n_2 কোয়ান্টাম সংখ্যার কক্ষপথে ইলেকট্রনের সংক্রমণ হতে যদি E পরিমাণ শক্তির প্রয়োজন হয় তবে, বোরতত্ত্ব থেকে আমরা লিখতে পারি,

$$E = \frac{me^4}{8\epsilon_0^2 h^2} \left(\frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2} \right)$$

যদি $n_2 = \infty$ এবং $n = 1$ ধরা যায় তাহা হলে E হবে আয়নন শক্তি। অতএব আয়নন শক্তি

$$E = \frac{me^4}{8\epsilon_0^2 h^2}; m = 9.1 \times 10^{-31} \text{ kg}; e = 1.6 \times 10^{-19} \text{ C} \text{ এবং } h = 6.63 \times 10^{-34} \text{ Js.}$$

এবং $\epsilon_0 = 8.854 \times 10^{-12}$ । অতএব, $E = 2.17 \times 10^{-18} \text{ J} = 13.6 \text{ eV}$ প্রায়। অতএব, হাইড্রোজেন পরমাণুর আয়নন শক্তি 13.6 eV এবং আয়নন বিভব = 13.6 V।

উপরোক্ত পরিমাণ শক্তিকে অনেক সময় শক্তির একক হিসাবে গণ্য করা হয়। এই একক-কে বলা হয় “রিডবার্গ” (প্রতীক R_y)। $1R_y = 2.17 \times 10^{-18} \text{ J}$ (প্রায়)।

[দ্রষ্টব্য : মনে রাখবে রিডবার্গ ধ্রুবসংখ্যা এবং শক্তির একক রিডবার্গ পৃথক রাশি।]

• উদ্দীপন বিভব (Excitation potential):

হাইড্রোজেন পরমাণুর ইলেকট্রনটি একাধিক স্থায়ী কক্ষপথে পরিভ্রমণ করতে পারে। এক কক্ষপথ হতে অন্য কক্ষপথে সংক্রমণ করতে হলে ইলেকট্রনকে বাইরে থেকে শক্তি সরবরাহ করতে হয়। সাধারণ বা অনুদীপিত অবস্থায় ইলেকট্রন যে কক্ষপথে থাকে তাকে বলা হয় ভৌমস্তর (ground level)। ভৌমস্তরে থাকা হাইড্রোজেন পরমাণুকে অন্য কোন উদ্দীপিত স্তরে (excited state) পাঠাতে হলে যে ন্যূনতম শক্তির প্রয়োজন তাকে ঐ স্তরের উদ্দীপন শক্তি বলে। যে বিভবপ্রভেদের ভিতর দিয়ে একটি ইলেকট্রনকে পাঠালে ইলেকট্রন উক্ত শক্তি অর্জন করবে তাকে উদ্দীপন বিভব বলে। যেহেতু ইলেকট্রন ভৌমস্তর হতে বিভিন্ন উদ্দীপিত স্তরে সংক্রমণ করতে পারে তাই উদ্দীপন বিভবও বিভিন্ন হতে পারে। যেমন হাইড্রোজেন পরমাণু ভৌমস্তর হতে প্রথম উদ্দীপিত স্তরে গেলে উদ্দীপন বিভব হবে 10.2V। দ্বিতীয় উদ্দীপিত স্তরে গেলে হবে 12.07 V ইত্যাদি।

4.5. এক্সরশির আবিষ্কার (Discovery of X-rays):

1895 খ্রিস্টাব্দে জার্মান বিজ্ঞানী উইলহেল্ম রনট্গেন মোক্ষণ নলে খুব নিম্নচাপ সৃষ্টি করে বায়ুমধ্যে তড়িৎ মোক্ষণের পরীক্ষা করতে গিয়ে এক অভাবনীয় ঘটনা লক্ষ্য করেন। মোক্ষণজনিত আভা ভালোভাবে লক্ষ্য করবার জন্য তিনি মোক্ষণনলের চতুর্দিকে কালো রংয়ের পাতলা কার্ডবোর্ডের আবরণ দিয়ে নিয়েছিলেন। তিনি লক্ষ্য করেন যে যতবারই তড়িৎমোক্ষণ পাঠানো হচ্ছে ততবারই মোক্ষণনল হতে কিছুদূরে রাখা একটি বেরিয়াম প্রাটিনোসায়ানাইড প্লেট উজ্জ্বল হয়ে উঠছে। তিনি আরও লক্ষ্য করলেন যে মোক্ষণনল এবং বেরিয়াম প্রাটিনোসায়ানাইড প্লেটের মাঝখানে মোটা ধাতব চাকতি রাখলে প্লেটে ঐ চাকতির ছায়া পড়ছে; কিন্তু অ্যালুমিনিয়াম, কাগজ, কাঠ প্রভৃতি হালকা বস্তু রাখলে কোনো ছায়া হচ্ছে না। রনজেন ঐ ঘটনাতে খুব বিস্মিত হলেন। তিনি মনে মনে স্থির করলেন যে নিশ্চয়ই কোনো অদৃশ্য কিন্তু উচ্চ ভেদনশক্তিসম্পন্ন রশ্মি মোক্ষণ নল থেকে নির্গত হচ্ছে যা কোনো পাতলা জিনিসের বাধা মানে না। পরে নানাবিধ অনুসন্ধানের পর তিনি ঐ সিদ্ধান্তে উপনীত হন যে মোক্ষণনল থেকে ক্যাথোড রশ্মি যখন নলের দেওয়ালে পড়ে তখন ঐ অজ্ঞাত রশ্মির উৎপত্তি হয়। সাধারণভাবে যখনই দ্রুতগতিসম্পন্ন ইলেকট্রন কোনো প্রতিবন্ধক দ্বারা বাধা পায়, তখনই ঐ ধরনের উচ্চ ভেদনশক্তি সম্পন্ন (penetrative power) রশ্মি তৈরি হয়। ঐ রশ্মির প্রকৃতি (nature) রনট্গেনের জানা না থাকায় তিনি ঐ রশ্মির নামকরণ করেন এক্সরশি (X-rays) কারণ, গাণিতিক রীতি অনুযায়ী কোনো অজ্ঞাত রাশিকে প্রকাশ করবার জন্য সাধারণত ইংরেজি এক্স (X) অক্ষর ব্যবহার করা হয়।

4.6. ➤ এক্সরশ্মির বৈশিষ্ট্য (Characteristics of X-rays) :

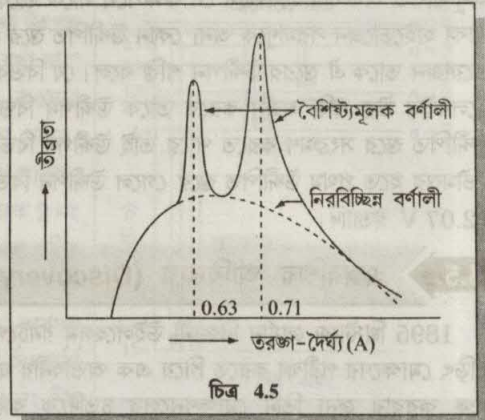
বিজ্ঞানীদের সমবেত প্রচেষ্টায় নানারকম পরীক্ষানিরীক্ষার মাধ্যমে এক্সরশ্মির নিম্নলিখিত বৈশিষ্ট্য আবিস্কৃত হয়েছে।

- এক্সরশ্মি তড়িৎক্ষেত্র বা চৌম্বকক্ষেত্র দ্বারা বিক্ষিপ্ত হয় না। এথেকে বোঝা যায় যে এক্সরশ্মি তড়িৎ চুম্বকীয় তরঙ্গ ; তড়িৎদ্বাহী কণিকা নয়।
- আলোর মতো এক্সরশ্মি সরল রেখায় চলাচল করে। শূন্য মাধ্যমে এর গতিবেগ আলোর গতিবেগের সমান—অর্থাৎ $3 \times 10^8 \text{ ms}^{-1}$ ।
- এক্সরশ্মির ভেদনশক্তি আছে।
- বেরিয়াম প্লাটিনোসায়ানাইড, জিঙ্ক সালফাইড প্রভৃতি বস্তুতে এক্সরশ্মি প্রতিপ্রভা সৃষ্টি করে।
- এক্সরশ্মি গ্যাসকে আয়নিত করে।
- ফোটোগ্রাফী প্লেটের ওপর এক্সরশ্মির প্রতিক্রিয়া আছে।
- এক্সরশ্মি আলোকতড়িৎ ক্রিয়া, ব্যতিচার, অপবর্তন, সমবর্তন ইত্যাদি সকলপ্রকার আলোকীয় ধর্ম প্রদর্শন করে।

4.7. ➤ বৈশিষ্ট্যমূলক এক্সরশ্মি (Characteristic X-rays) :

এক্সরশ্মি নল থেকে যে এক্সরশ্মি পাওয়া যায় তাতে বিভিন্ন তরঙ্গ দৈর্ঘ্যের রশ্মি বর্তমান। বৈশিষ্ট্যমূলক এক্সরশ্মির তরঙ্গদৈর্ঘ্য প্রাথমিক এক্সরশ্মির তরঙ্গদৈর্ঘ্যের সমান অথবা কম হয়। উচ্চ পারমাণবিক ভরযুক্ত বস্তু থেকে আগত বৈশিষ্ট্যমূলক এক্স-রশ্মির

তরঙ্গদৈর্ঘ্য নিম্নপারমাণবিক ভর যুক্ত বস্তু থেকে আগত রশ্মির তরঙ্গদৈর্ঘ্য অপেক্ষা হ্রস্বতর। প্রত্যেক বস্তুই একগুচ্ছ বৈশিষ্ট্যমূলক এক্সরশ্মি উৎপন্ন করে এবং এদের K, L, M প্রভৃতি বিভিন্ন শ্রেণিতে বিভক্ত করা হয়। এক্সরশ্মি নল থেকে নির্গত বিভিন্ন তরঙ্গ দৈর্ঘ্যের রশ্মির তীব্রতা পরিমাপ করে তরঙ্গদৈর্ঘ্যের সঙ্গে তীব্রতার পরিবর্তন লেখচিত্রের সাহায্যে দেখানো যায়। একে বর্ণালী চিত্র বলা হয়। বৈশিষ্ট্যমূলক এক্সরশ্মি বর্ণালী গঠিত হয় কয়েকটি বিশেষ বিশেষ তরঙ্গদৈর্ঘ্যের বর্ণালী রেখা দ্বারা। এরা অবচ্ছিন্ন বর্ণালীর ওপর সমাপাতিত থাকে। মলিবডিনাম ধাতু নির্মিত টার্গেট যে বৈশিষ্ট্যমূলক

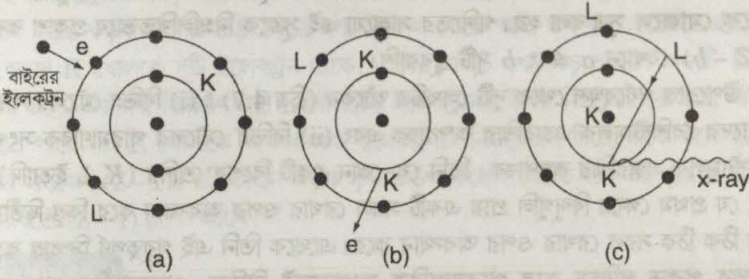


চিত্র 4.5

এক্স রশ্মি বর্ণালী তৈরি করে তা 4.5 নং চিত্রে দেখানো হল। চিত্র থেকে দেখা যায় যে অল্প তীব্রতার অবচ্ছিন্ন বর্ণালীর ওপর উচ্চ তীব্রতার দুটি তীক্ষ্ণ চূড়া সমাপতিত হয়েছে। এই চূড়া দুটি 0.71Å এবং 0.63Å মানের দুটি বিশেষ তরঙ্গদৈর্ঘ্য দ্বারা সৃষ্টি হয়েছে। সাধারণভাবে চূড়া দুটিকে টার্গেট ধাতুর বৈশিষ্ট্যমূলক রেখা বলা হয়। বৈশিষ্ট্যমূলক বর্ণালীর তরঙ্গদৈর্ঘ্য নির্ভর করে এক্সরশ্মি নলে ব্যবহৃত টার্গেট ধাতুর ওপর।

● **বৈশিষ্ট্যমূলক এক্সরশ্মির উৎপত্তি (Origin of characteristic x-rays) :** মনে করো আমরা Z পারমাণবিক সংখ্যার একটি মৌলের কথা বিবেচনা করছি। মৌলের পরমাণুতে Ze পরিমাণ ধনাত্মক তড়িৎযুক্ত নিউক্লিয়াস থাকবে এবং নিউক্লিয়াসের চতুর্দিকে Z -সংখ্যক ইলেকট্রন থাকবে। এই ইলেকট্রনগুলি একটি রীতি অনুযায়ী সাজানো থাকে এবং এক একটি সজ্জাকে বলা হয় খোলক (shell)। দেখা গেছে যে নিউক্লিয়াসের সর্বাপেক্ষা নিকটবর্তী যে খোলক তাতে মাত্র দুটি ইলেকট্রন থাকে। পরের খোলকটিতে থাকে আটটি। তৃতীয় খোলকে 18টি—এইরকম বিভিন্ন খোলকে বিভিন্ন সংখক ইলেকট্রন সজ্জিত থাকে। এই খোলকগুলির নামকরণ করা হয়েছে K, L, M ইত্যাদি।

এমন মনে করো, বাইরে থেকে একটি শক্তিশালী ইলেকট্রন এসে পরমাণুর অন্তরতম K -খোলক



চিত্র 4.6

থেকে দুটি ইলেকট্রনের একটিকে ছিটকে বার করে দিল [চিত্র 4.6]। ফলে, K খোলকে একটি শূন্যস্থান তৈরি হবে [চিত্র 4.6(b)]। উচ্চতর খোলক থেকে একটি ইলেকট্রন সংক্রামিত হয়ে ঐ শূন্য স্থান পূরণ করতে পারে। ঐরকম ইলেকট্রন সংক্রমণ ঘটলে দুই খোলকের শক্তির পার্থক্য একটি এক্সরশি ফোটন রূপে নির্গত হবে। 4.6(c) নং চিত্রে L খোলক থেকে K খোলকে একটি ইলেকট্রনের গুহরূপ সংক্রমণ দেখানো হয়েছে। নির্গত এক্সরশিকে তখন K_α এক্সরশি বলা হবে। ঐ রশ্মির কম্পাঙ্ক ν_1 হলে $h\nu_1 = W_K - W_L$; এক্ষেত্রে W_K এবং W_L যথাক্রমে K এবং L খোলকের শক্তির পরিমাণ।

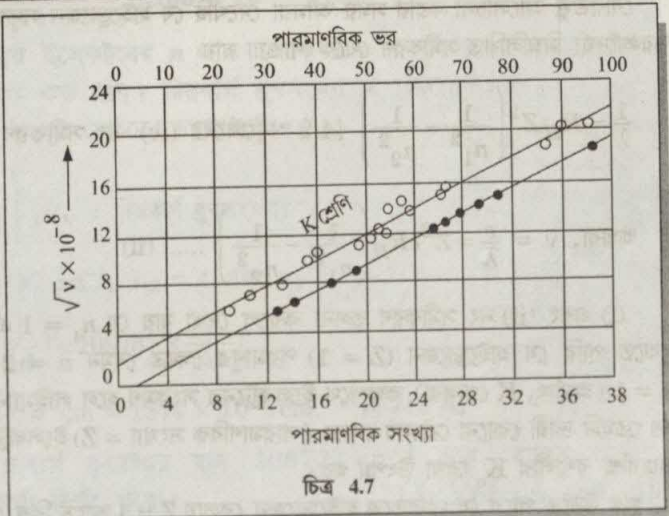
একইরকম ভাবে M খোলক থেকে একটি ইলেকট্রন K খোলকের শূন্যস্থান পূরণ করলে, K -শ্রেণির দ্বিতীয় তরঙ্গদৈর্ঘ্যের এক্সরশি (K_β) উৎপন্ন হবে।

আবার একটি ইলেকট্রন L খোলক ছেড়ে চলে এলে ওই খোলকে যে শূন্য স্থান তৈরি হবে তা M অথবা N খোলকের কোনো ইলেকট্রন পূরণ করবে। এ অবস্থায় L শ্রেণির বৈশিষ্ট্যমূলক এক্সরশি উৎপন্ন হবে।

এইভাবে বিভিন্ন মৌল K, L, M ইত্যাদি শ্রেণির বৈশিষ্ট্যমূলক এক্সরশি বর্ণালী গঠন করে।

4.8. মোজলে সূত্র (Moseley's laws):

1913-14 খ্রিস্টাব্দে ব্রিটিশ বিজ্ঞানী মোজলে বৈশিষ্ট্যমূলক এক্সরশির বর্ণালী সম্বন্ধে বিস্তারিত অনুসন্ধান করেন। হালকা অ্যালুমিনিয়াম থেকে শুরু করে ভারী মৌল সোনা পর্যন্ত 38 টি বিভিন্ন মৌলকে অ্যান্টিক্যাথোডরূপে ব্যবহার করে তিনি তাদের বৈশিষ্ট্যমূলক এক্সরশি উৎপন্ন করেন এবং নির্ভুলভাবে তাদের তরঙ্গদৈর্ঘ্য পরিমাপ করেন। পরীক্ষার ফলাফল থেকে তিনি কোনো একটি বিশেষ বর্ণালী রেখার কম্পাঙ্ক ν



চিত্র 4.7

এবং যেসকল মৌল ঐ বর্ণালী রেখা উৎপন্ন করে তাদের পারমাণবিক সংখ্যা Z -এর ভিতর একটি সরল সম্পর্ক প্রতিষ্ঠা করেন। তিনি দেখতে পান কম্পাঙ্ক পারমাণবিক সংখ্যার বর্ণের সমানুপাতিক অর্থাৎ, $\nu \propto Z^2$ । একে মোজলে সূত্র বলা হয়। গণিতের সাহায্যে এই সূত্রকে নিম্নলিখিতভাবে প্রকাশ করা যায় : $\sqrt{\nu} = a(Z-b)$ যেখানে a এবং b দুটি ধ্রুবরাশি।

মোজলে উপরোক্ত পর্যবেক্ষণ থেকে দুটি লেখচিত্র আঁকেন (চিত্র 4.7) : (i) বিভিন্ন মৌলের পারমাণবিক ভর এবং তাদের বৈশিষ্ট্যমূলক এক্সরশিয়ার কম্পাঙ্ক এবং (ii) বিভিন্ন মৌলের পারমাণবিক সংখ্যা এবং তাদের বৈশিষ্ট্যমূলক এক্সরশিয়ার কম্পাঙ্ক। তিনি যে-কোন একটি বিশেষ শ্রেণির (K, L ইত্যাদি) বেলায় দেখতে পান যে প্রথম ক্ষেত্রে বিন্দুগুলি প্রায় একটি সরল রেখার ওপর অবস্থান করে কিন্তু দ্বিতীয় ক্ষেত্রে বিন্দুগুলি সব ঠিক ঠিক সরল রেখার ওপর অবস্থান করে। এথেকে তিনি এই গুরুত্বপূর্ণ সিদ্ধান্ত করেন যে, একটি মৌলের প্রকৃত পরিচয় তার পারমাণবিক সংখ্যাতেই নিহিত, পারমাণবিক ভর বা ভারে নয়। মোজলে সূত্র থেকে পারমাণবিক সংখ্যা সম্বন্ধে বিজ্ঞানীদের ধারণা দৃঢ় হয়।

● বোর তত্ত্বানুযায়ী মোজলে সূত্রের ব্যাখ্যা (Explanation of Moseley's law according to Bohr's theory) :

এক্সরশিয়ার কোন একটি বিশেষ বর্ণালী রেখার কম্পাঙ্ক ν এবং যে মৌল ঐ বর্ণালী রেখা উৎপন্ন করে তার পারমাণবিক সংখ্যা Z -এ দুয়ের ভিতর যে সম্পর্ক মোজলে নির্ণয় করেন তা নিম্নরূপ :

$$\sqrt{\nu} \propto (Z-b) \text{ অথবা } \sqrt{\nu} \propto a(Z-b) \text{ যেখানে } a \text{ এবং } b \text{ দুটি ধ্রুবরাশি।}$$

পূর্বে উল্লেখ করা হয়েছে যে বৈশিষ্ট্যমূলক এক্সরশি বর্ণালীতে K, L, M প্রভৃতি শ্রেণিতে ভাগ করা হয়। যেকোনো শ্রেণিতে আবার একাধিক বর্ণালী রেখা দেখতে পাওয়া যায়। যেমন, K শ্রেণিতে চারটি রেখা আছে। এদের বলা হয় $K_\alpha, K_\beta, K_\gamma$ এবং K_δ রেখা। এখন K_α রেখার বেলায় দেখা যায় যে ধ্রুবক

$$a = \frac{3}{4}cR_H \text{ এবং } b = 1; \text{ এস্থলে } R_H \text{ বোর তত্ত্বে উল্লিখিত রিডবার্গ ধ্রুবসংখ্যা এবং } c = \text{আলোর গতিবেগ। অতএব } K_\alpha \text{ রেখার বেলায় মোজলে সূত্র দাঁড়ায়, } \nu = \frac{3}{4}cR_H (Z-1)^2$$

$$= cR_H (Z-1)^2 \left(\frac{1}{1^2} - \frac{1}{2^2} \right) \dots (i) \quad \left[\frac{3}{4} = \left(\frac{1}{1^2} - \frac{1}{2^2} \right) \right]$$

বোরতত্ত্ব আলোচনা করার সময় আমরা দেখেছি যে হাইড্রোজেন সদৃশ পরমাণুর বর্ণালী রেখাগুলির তরঙ্গদৈর্ঘ্য নিম্নলিখিত সমীকরণ থেকে পাওয়া যায়

$$\frac{1}{\lambda} = R_H Z^2 \left(\frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2} \right) \quad [4.2 \text{ অনুচ্ছেদের (iv) নং সমীকরণ}]$$

$$\text{অথবা, } \nu = \frac{c}{\lambda} = Z^2 c R_H \left(\frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2} \right) \dots (ii)$$

(i) এবং (ii) নং সমীকরণ তুলনা করলে দেখা যায় যে $n_1 = 1$ এবং $n_2 = 2$ এথেকে আমরা বুঝতে পারি যে হাইড্রোজেন ($Z = 1$) পরমাণুর ক্ষেত্রে যেমন $n = 2$ (অর্থাৎ, L খোলক) হতে $n = 1$ (অর্থাৎ, K খোলক) কক্ষপথে ইলেকট্রনের সংক্রমণ হলে লাইম্যান শ্রেণির বর্ণালী রেখা উৎপন্ন হয় তেমনি ভারী কোনো মৌলের ক্ষেত্রে (পারমাণবিক সংখ্যা $= Z$) ইলেকট্রনের ঐরকম সংক্রমণের ফলে এক্সরশি বর্ণালীর K_α রেখা উৎপন্ন হয়।

প্রশ্ন উঠতে পারে যে বোরতত্ত্বে হাইড্রোজেন বেলায় $Z = 1$ আসে কিন্তু মোজলে সূত্রে Z এর পরিবর্তে

(Z - 1) আসছে। এই পার্থক্যের হেতু কি? একথা মনে রাখা দরকার যে বোরতত্ত্ব একটি ইলেকট্রন যুক্ত হাইড্রোজেন বা হাইড্রোজেন সদৃশ পরমাণুর বেলায় প্রযোজ্য। হাইড্রোজেন পরমাণুর ইলেকট্রনটি নিউক্লিয়াসের সমগ্র আধান +Ze কর্তৃক উৎপন্ন তড়িৎক্ষেত্রে এক কক্ষপথে থেকে অন্য কক্ষপথে সংক্রমিত হয়। কিন্তু ভারী মৌলের বেলায় K খোলকে দুটি ইলেকট্রন থাকে, তাদের একটি খোলকচ্যুত হলে অন্যটি K খোলকেই থেকে যায়। ফলে, এক্সরশি বিকিরণকারী L খোলকের ইলেকট্রনের উপর নিউক্লিয়াসের সমগ্র আধান +Ze ক্রিয়া করতে পারে না। K খোলকে অবস্থানরত ইলেকট্রনটি নিউক্লিয়াস ঘিরে থাকে বলে L-খোলকে ইলেকট্রনের সংক্রমণ (Z - 1)e তড়িৎআধান কর্তৃক সৃষ্ট তড়িৎক্ষেত্রে সংঘটিত হয়। এই কারণে মোজলে সূত্রে Z-এর পরিবর্তে (Z - 1) রাশি আসে।

□ EXAMPLES □

1. (a) হাইড্রোজেন পরমাণুর প্রথম বোর কক্ষপথের ব্যাসার্ধ নির্ণয় করো। $h = 6.63 \times 10^{-34} \text{ J-s}$; ইলেকট্রনের ভর = $9.1 \times 10^{-31} \text{ kg}$; ইলেকট্রনের তড়িৎআধান = $1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$.

উঃ। হাইড্রোজেন পরমাণুর nth কক্ষপথের ব্যাসার্ধ $r_n = \frac{\epsilon_0 n^2 h^2}{\pi m e^2}$

প্রথম কক্ষপথের বেলায় $n = 1$; অতএব,

$$r_1 = \frac{8.854 \times 10^{-12} \times 1^2 \times (6.63 \times 10^{-34})^2}{3.14 \times (9.1 \times 10^{-31}) \times (1.6 \times 10^{-19})^2} = 53 \times 10^{-12} \text{ m (প্রায়)}.$$

[দ্রঃ হাইড্রোজেন পরমাণুর ক্ষেত্রে r_1 -কে বোর ব্যাসার্ধ (r_B) বলা হয়। উপরোক্ত সম্পর্ক হতে লেখা যায় $r_n = n^2 \cdot r_B$]

(b) হাইড্রোজেন পরমাণুতে তৃতীয় কক্ষপথে আবর্তনশীল ইলেকট্রনের কৌণিক ভরবেগ কত? $h = 6.6 \times 10^{-27} \text{ erg-s}$.

উঃ। nth কক্ষপথে ইলেকট্রনের কৌণিক ভরবেগ = $nh/2\pi$; অতএব, তৃতীয় কক্ষপথে কৌণিক

$$\text{ভরবেগ} = \frac{3h}{2\pi} = \frac{3 \times 6.6 \times 10^{-27}}{2 \times 3.14} = 3.153 \times 10^{-27} \text{ gcm-s}^{-1}.$$

2. হাইড্রোজেন পরমাণুর ইলেকট্রনের $n = 4$ থেকে $n = 3$ কক্ষপথে সংক্রমণ হলে নিঃসৃত ফোটনের তরঙ্গদৈর্ঘ্য কত হবে? রিডবার্গ ধ্রুবসংখ্যা = 109737 cm^{-1} .

উঃ। বোর তত্ত্ব অনুযায়ী নিঃসৃত ফোটনের তরঙ্গদৈর্ঘ্য

$$\frac{1}{\lambda} = R_H \left(\frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2} \right) [R_H = \text{রিডবার্গ ধ্রুবসংখ্যা}]$$

প্রদানুযায়ী, $R_H = 109737 \text{ cm}^{-1}$; $n_2 = 4$ এবং $n_1 = 3$.

$$\therefore \frac{1}{\lambda} = 109737 \left(\frac{1}{9} - \frac{1}{16} \right) = 109737 \times \frac{7}{144}.$$

$$\text{অতএব, } \lambda = \frac{144}{109737 \times 7} \text{ cm} = 1874 \times 10^{-7} \text{ cm} = 18740 \text{ \AA}.$$

3. হাইড্রোজেনের রিডবার্গ ধ্রুবকের মান 109737 cm^{-1} হলে, বামার শ্রেণির দীর্ঘতম ও হ্রস্বতম তরঙ্গদৈর্ঘ্য নির্ণয় করো। [Jt. Entrance 1995]

উঃ। বোরতত্ত্ব অনুযায়ী বামার শ্রেণির তরঙ্গদৈর্ঘ্য নিম্নলিখিত সমীকরণ হতে পাওয়া যায় :

$$\frac{1}{\lambda} = R_H \left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{n^2} \right) (n = 3, 4, 5 \dots \text{ইত্যাদি})$$

দীর্ঘতম তরঙ্গদৈর্ঘ্যের বেলায় $n = 3$; অতএব, $\frac{1}{\lambda_{\max}} = 109737 \left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{3^2} \right) = 109737 \times \frac{5}{36}$

$$\therefore \lambda_{\max} = \frac{36}{5 \times 109737} = 6561 \times 10^{-8} \text{ cm} = 6561 \text{ \AA}.$$

হ্রস্বতম তরঙ্গদৈর্ঘ্যের বেলায়, $n = \infty$; অতএব, $\frac{1}{\lambda_{\min}} = 109737 \left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{\infty} \right) = 109737 \times \frac{1}{4}$

$$\therefore \lambda_{\min} = \frac{4}{109737} = 3645 \times 10^{-8} \text{ cm} = 3645 \text{ \AA}.$$

৪. হাইড্রোজেন পরমাণুর প্রথম বোর কক্ষপথে আবর্তনশীল ইলেকট্রনের শক্তি -13.6 ইলেকট্রন ভোল্ট হলে এর দ্বিতীয় বোর কক্ষপথে হতে প্রথম কক্ষপথে ইলেকট্রন সংক্রমণের ফলে নিঃসৃত ফোটনের শক্তি কত হবে?

উঃ। n th কক্ষপথে পরিভ্রমণশীল হাইড্রোজেন পরমাণুর ইলেকট্রনের শক্তি $E_n = -\frac{me^4}{8\epsilon_0^2 n^2 h^2}$

অতএব, প্রথম বোর কক্ষপথে ($n = 1$) আবর্তনশীল ইলেকট্রনের শক্তি $E_1 = -\frac{me^4}{8\epsilon_0^2 h^2}$

প্রশ্নানুযায়ী $E_1 = -13.6 \text{ eV} \therefore \frac{me^4}{8\epsilon_0^2 h^2} = 13.6 \text{ eV}$

এখন, n_2 কক্ষপথে থেকে n_1 কক্ষপথে ইলেকট্রনের সংক্রমণ হলে, নির্গত ফোটনের শক্তি

$$E_2 - E_1 = \frac{me^4}{8\epsilon_0^2 h^2} \left[\frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2} \right] = 13.6 \left[\frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2} \right]$$

প্রশ্নানুযায়ী, $n_2 = 2$ এবং $n_1 = 1$;

অতএব, $E_2 - E_1 = 13.6 \left[\frac{1}{1} - \frac{1}{(2)^2} \right] = 13.6 \times \frac{3}{4} = 10.2 \text{ eV}.$

বোরতত্ত্বানুযায়ী নিঃসৃত ফোটনের শক্তি $= E_2 - E_1 = 10.2 \text{ eV}.$

এই পরিচ্ছেদের বিষয়বস্তু সম্পর্কে কয়েকটি প্রশ্ন (Some typical problems of this chapter)

১. বোর কক্ষপথগুলিকে “স্থায়ী কক্ষপথ” বলা হয় কেন?

- বোর কক্ষপথগুলিকে স্থায়ী কক্ষপথ বলা হয় কারণ এই কক্ষপথগুলিতে প্রদক্ষিণ করার সময় ইলেকট্রন কোনো শক্তি বিকিরণ করে না। যদিও প্রদক্ষিণ কালে এদের গতিতে ত্বরণ থাকে তথাপি বোরের স্বীকার্য অনুযায়ী ইলেকট্রনগুলি শক্তি ক্ষয় না করে কক্ষপথে আবর্তন করে।

2. হাইড্রোজেন পরমাণু সংক্রান্ত বোরতত্ত্বে ইলেকট্রনের স্থিতিশক্তি নেগেটিভ। তাছাড়া স্থিতিশক্তির মান এর গতিশক্তির মান অপেক্ষা বেশি। এই ঘটনা দুটির ভৌত তাৎপর্য কি?
- স্থিতিশক্তি নেগেটিভ-এর ভৌত তাৎপর্য এই যে পরমাণুর ইলেকট্রন পরমাণুর নিউক্লিয়াসের সাথে আবদ্ধ (bound)। স্থিতিশক্তির মান গতিশক্তির মান অপেক্ষা বেশি—এর ভৌত তাৎপর্য এই যে ইলেকট্রন স্বেচ্ছায় পরমাণু ছেড়ে মুক্ত হতে পারে না। মুক্ত হতে গেলে বাইরে থেকে ইলেকট্রনকে শক্তি সরবরাহ করতে হবে।

3. হাইড্রোজেন পরমাণুর বর্ণালীতে 911\AA অপেক্ষা ক্ষুদ্রতর তরঙ্গদৈর্ঘ্যের বর্ণালী রেখা পাওয়া যায় না। এর কারণ কী?

- হাইড্রোজেন পরমাণু যে সকল বর্ণালী শ্রেণি উৎপন্ন করে, তাদের মধ্যে লাইম্যান শ্রেণির বর্ণালী রেখাগুলির তরঙ্গদৈর্ঘ্য সবচাইতে কম। বোর তত্ত্ব থেকে জানা যায় যে লাইম্যান শ্রেণির বর্ণালী

$$\text{রেখাগুলির তরঙ্গদৈর্ঘ্য নিম্নলিখিত সমীকরণ থেকে পাওয়া যায় : } \frac{1}{\lambda} = R_H \left(\frac{1}{1^2} - \frac{1}{n^2} \right)$$

এই শ্রেণির সর্বনিম্ন তরঙ্গদৈর্ঘ্য নির্ণয় করতে হলে $n = \infty$ বসাতে হবে।

$$\therefore \frac{1}{\lambda_{\min}} = R_H \text{ অথবা } \lambda_{\min} = \frac{1}{R_H} = \frac{1}{10.97 \times 10^6} \text{ m} = 911\text{\AA}$$

এথেকে বলা যায় যে হাইড্রোজেন বর্ণালীতে 911\AA অপেক্ষা ক্ষুদ্রতর তরঙ্গদৈর্ঘ্য পাওয়া যায় না।

4. হাইড্রোজেন পরমাণুতে মাত্র একটি ইলেকট্রন আছে, তথাপি হাইড্রোজেন বর্ণালীতে বহুসংখ্যক রেখা থাকে কেন, ব্যাখ্যা করো।

- যখন কিছু পরিমাণ হাইড্রোজেন গ্যাস নিয়ে উদ্দীপিত (excited) করা হয় তখন ঐ গ্যাসের অসংখ্য পরমাণু উদ্দীপিত হয়; এই পরমাণুর সব ইলেকট্রনগুলি উদ্দীপনার উৎস থেকে (source of excitement) থেকে সমপরিমাণ শক্তি শোষণ করে না। শোষিত শক্তি অনুযায়ী তারা বিভিন্ন শক্তি সমন্বিত কক্ষপথে সংক্রামিত হয়; আবার স্বাভাবিক কক্ষপথে অথবা বিভিন্ন নিম্নতর শক্তির কক্ষপথে ফিরে আসার সময় বিভিন্ন পরিমাণ শক্তি বিকিরণ করে। তাই হাইড্রোজেন পরমাণুতে একটি ইলেকট্রন থাকলেও, হাইড্রোজেন বর্ণালীতে বিভিন্ন তরঙ্গদৈর্ঘ্যের একাধিক রেখা দেখা যায়।

5. যদি হাইড্রোজেন পরমাণুর ইলেকট্রনটিকে তৃতীয় কক্ষপথে তুলে দেওয়া হয়, তাহলে বিভিন্ন শক্তি সম্পন্ন কতরকমের কোয়ান্টা বেরিয়ে আসতে পারে? যুক্তি সহ উত্তর দাও।

[Jt. Entrance 1989]

- ইলেকট্রন সংক্রমণ 3 নং কক্ষপথ থেকে 2 নং কক্ষপথে ($n = 3 \rightarrow n = 2$) হলে একটি, 3 নং কক্ষপথ থেকে 1 নং কক্ষপথে ($n = 3 \rightarrow n = 1$) হলে একটি এবং 2 নং কক্ষপথ থেকে পড়া ইলেকট্রনটি 1 নং কক্ষপথে ($n = 2 \rightarrow n = 1$) সংক্রমণ করলে 1 টি—অর্থাৎ, মোট তিনটি কোয়ান্টা বেরিয়ে আসতে পারে।

6. সোডিয়াম অণুর বর্ণালীর সঙ্গে হাইড্রোজেন অণুর বর্ণালীর সাদৃশ্য আছে। কী অর্থে তা সত্য?

- হাইড্রোজেন পরমাণুর একটি মাত্র ইলেকট্রন এবং সেটি K -খোলকে অবস্থান করে। সোডিয়াম পরমাণুর 11 টি ইলেকট্রন। এর মধ্যে K -খোলকে 2টি এবং L -খোলকে 8টি ইলেকট্রন অবস্থান করে। বাকি 1টি ইলেকট্রন M -খোলকে স্থান পায়। কাজেই হাইড্রোজেন ও সোডিয়াম উভয় পরমাণুতেই অপূর্ণ খোলকে (K এবং M) 1টি করে ইলেকট্রন আছে। এই কারণে সোডিয়াম অণুর বর্ণালীর সঙ্গে হাইড্রোজেন অণুর বর্ণালীর কিছু সাদৃশ্য দেখা যায়।

7. হাইড্রোজেন পরমাণুতে ঘূর্ণমান তড়িৎ আধানের ক্লাসিকাল তত্ত্বের অসুবিধা কি?

[Jt. Entrance 1993]

- ক্লাসিকাল তত্ত্বের নিম্নলিখিত অসুবিধা বর্তমান :

(i) এই তত্ত্ব অনুসারে যখনই কোনো তড়িতাধানের ত্বরণ হয় তখনই তা তড়িৎচুম্বকীয় শক্তি বিকিরণ করে। পরমাণুর ইলেকট্রনগুলি নিউক্লিয়াসের চতুর্দিকে আবর্তিত হতে থাকলে নিউক্লিয়াসের অভিমুখে এদের যে অভিকেন্দ্রিক ত্বরণ উৎপন্ন হবে তার ফলে এই ইলেকট্রনগুলি ক্রমাগত শক্তি বিকিরণ করবে। এইভাবে ক্রমাগত শক্তিক্ষয় হতে থাকলে, ইলেকট্রনের কক্ষপথের ব্যাসার্ধ ক্রমশ হ্রাস পাবে এবং এক সময় ইলেকট্রনগুলি নিউক্লিয়াসের ওপর এসে পড়বে এবং পারমাণবিক গঠন নষ্ট হয়ে যাবে। অর্থাৎ, ক্লাসিকাল তত্ত্বদ্বারা পরমাণুর স্থায়িত্ব ব্যাখ্যা করা যাবে না।

(ii) নিরবচ্ছিন্নভাবে শক্তি বিকিরণ করলে, পরমাণু যে বর্ণালী সৃষ্টি করবে তা নিরবচ্ছিন্ন বর্ণালী (continuous spectrum) হবে। কিন্তু পরীক্ষার ফলে দেখা যায় পরমাণুগুলি রেখা বর্ণালী (line spectrum) তৈরি করে এবং ঐ রেখাগুলি সব বিচ্ছিন্ন। সুতরাং ক্লাসিকাল তত্ত্ব পরমাণুর রেখা বর্ণালীর উৎপত্তিও ব্যাখ্যা করতে পারে না।

8. একটি হাইড্রোজেন পরমাণুর মধ্যে ইলেকট্রনটি তৃতীয় কক্ষপথে ভ্রমণশীল। এর কৌণিক ভরবেগ কত? $h = 6.6 \times 10^{-27} \text{ Js}$. [Jt. Entrance 1994]

- বোরতত্ত্ব থেকে জানা যায় যে ইলেকট্রনের ভরবেগ $= nh/2\pi$ যেখানে $n = 0, 1, 2, 3 \dots$

বর্তমান ক্ষেত্রে $n = 3$ হওয়ায়, ভরবেগ $= \frac{3 \times 6.6 \times 10^{-27}}{2 \times 3.14} = 3.15 \times 10^{-27} \text{ g-cms}^{-1}$.

9. একটি ইলেকট্রন হাইড্রোজেন পরমাণুর প্রথম বোর কক্ষপথে এক সেকেন্ডে কতবার প্রদক্ষিণ করবে? [Jt. Entrance 1996]

- প্রথম বোর কক্ষের ব্যাসার্ধ $= 0.528 \times 10^{-10} \text{ m}$ এবং ঐ কক্ষপথে ইলেকট্রনের গতিবেগ $= 2.19 \times 10^6 \text{ ms}^{-1}$.

সুতরাং ইলেকট্রনের প্রদক্ষিণ সংখ্যা $= \frac{\text{গতিবেগ}}{2\pi \times \text{ব্যাসার্ধ}} = \frac{2.19 \times 10^6}{2 \times 3.14 \times 0.528 \times 10^{-10}} = 66 \times 10^{14}$

10. একটি হাইড্রোজেন পরমাণুর ইলেকট্রনকে n -তম স্তরে উদ্দীপ্ত করা হয়েছে। ভূমিস্তরে যাওয়ার জন্য এই পরমাণু থেকে কতগুলি সম্ভাব্য বর্ণালী রেখা বের হতে পারে? [Jt. Entrance 2000]

- n -তম কক্ষপথে অবস্থিত ইলেকট্রনটি প্রথমে যে-কোনো স্তরে নেমে তারপরে ভূমিস্তরে পৌঁছাতে পারে। এরূপ প্রতিটি সংক্রমণের জন্য একটি করে বর্ণালী রেখা পাওয়া যাবে। যেহেতু n সংখ্যক স্তরের মধ্যে যে-কোনো দুটি স্তরকে বাছা যায় nC_2 উপায়ে তাই সম্ভাব্য রেখা বর্ণালীর সংখ্যা হবে

$${}^nC_2 = \frac{2!}{2!(n-2)!} = \frac{n \times (n-1) \times (n-2)!}{2.1 \times (n-2)!} = \frac{1}{2} n(n-1)$$

11. একটি X-রশ্মির তরঙ্গদৈর্ঘ্য 3Å হলে তরঙ্গটির কম্পাঙ্ক কত?

- আমরা জানি, $v \times \lambda = c$ অথবা $v = \frac{c}{\lambda} = \frac{3 \times 10^8}{3 \times 10^{-10}} = 10^{18} \text{ Hz}$ [$3\text{Å} = 3 \times 10^{-10} \text{ m}$]

12. এক্সরশ্মি নলে ইলেকট্রন টার্গেটে আঘাত করে গতিহীন হয় এবং টার্গেটে থেকে যায়। তাহলে কি যত সময় যায় তত টার্গেট ঋণাত্মক তড়িৎগ্রস্ত হয়?

- ইলেকট্রনের শক্তি X রশ্মিতে রূপান্তরিত হয়। ইলেকট্রনটি প্রযুক্ত-বিভববর্তনীর ভিতর দিয়ে ক্যাথোডে ফিরে আসে। টার্গেট ঋণাত্মক তড়িৎগ্রস্ত হয় না।

* প্রশ্নাবলি *

→ রচনামূলক প্রশ্ন

1. পরমাণুর ইলেকট্রনীয় গঠন সম্পর্কে যা জান লেখো। রাদারফোর্ড কীভাবে নিউক্লিয়াসের অবতারণা করেন? রাদারফোর্ড গঠনপ্রকল্পের ত্রুটি কী?
2. পরমাণুর ইলেকট্রন গঠন সম্পর্কে বোরের অবদান কী? ‘ভ্যালেন্স ইলেকট্রন’ কাকে বলে?
3. (a) বোর-রাদারফোর্ড কল্পিত পরমাণুচিত্রের বর্ণনা করো। বোর কল্পিত স্বীকৃতিগুলি লেখো। বোরের তত্ত্ব দ্বারা বর্ণালীরেখার উৎপত্তি কীভাবে ব্যাখ্যা করা যায়?
(b) হাইড্রোজেন পরমাণু সংক্রান্ত বোর তত্ত্বের মূল অঙ্গীকারগুলি লেখো।
5. এক্সরশি বর্ণালী সম্পর্কে মোজলে সূত্র বিবৃত করো। এর একটি গাণিতিক রূপ লেখো। বোর মডেলের সাহায্যে এটি কীভাবে ব্যাখ্যা করা যায়? সংক্ষেপে বলো।

→ সংক্ষিপ্ত উত্তরের প্রশ্ন

1. পরমাণুর গঠন ও সৌরজগতের গঠনের ভিতর কি সাদৃশ্য আছে?
2. হাইড্রোজেন পরমাণুর বর্ণালীতে 911Å অপেক্ষা ক্ষুদ্রতর তরঙ্গদৈর্ঘ্য পাওয়া যায় না। এর কারণ কী?
[সংকেত : লাইম্যান শ্রেণিতে $n = \infty$ বসও।]
3. হাইড্রোজেন পরমাণুর আয়নয়ন বিভব 13.6 volt; এর অর্থ এই যে (i) প্রথম কক্ষপথে আবর্তনশীল ইলেকট্রনের শক্তি -13.6 eV (ii) হাইড্রোজেন পরমাণুর প্রোটন ও ইলেকট্রনের ভর-পার্থক্য 13.6 eV (iii) এদের কোনোটিই নয়। [Ans. (i)]
4. হাইড্রোজেন পরমাণুতে ইলেকট্রনের চতুর্থ কক্ষের ব্যাসার্ধ দ্বিতীয় কক্ষের ব্যাসার্ধের কতগুণ? [Ans. চারগুণ]
(i) তিনগুণ, (ii) চারগুণ (iii) পাঁচগুণ
5. দৃশ্যমান আলো এবং এক্সরশির ভিতর পার্থক্য কী?

→ অতিসংক্ষিপ্ত উত্তরের প্রশ্ন

1. যখন $n = \infty$ তখন ইলেকট্রনের শক্তি কত?
2. ইলেকট্রন যখন n^{th} কোয়ান্টাম কক্ষপথে পরিভ্রমণ করে তখন তার মোট শক্তি কত?
3. n^{th} কোয়ান্টাম কক্ষপথের ব্যাসার্ধ কত?
4. বোর কক্ষপথে ইলেকট্রনের স্থিতিশক্তি ধনাত্মক না ঋণাত্মক?
5. কোমল এবং কঠিন এক্স রশ্মির মধ্যে কোনটির তরঙ্গ দৈর্ঘ্য বেশী?
6. উপরোক্ত প্রশ্নে কোনটির ভেদনক্ষমতা বেশী?
7. এক্সরশি কি চৌম্বক বা তড়িৎক্ষেত্র দ্বারা বিক্ষিপ্ত হয়?
8. এক্সরশি কে আবিষ্কার করেন?
9. এক্সরশির কি অপবর্তন বা সমবর্তন হয়?
10. পরমাণুর নিউক্লিয়াস গঠন কে প্রবর্তন করেন?
11. হাইড্রোজেন পরমাণুর আয়নয়ন বিভব এবং উদ্দীপন বিভব কাকে বলে?

→ বহুমুখী পছন্দের প্রশ্ন [Multiple choice type (MCQ)]

(A) নির্ভুল উত্তরটি $\sqrt{\quad}$ চিহ্নিত করো :

[i] হাইড্রোজেন ও আয়নিত হিলিয়ামের বামার শ্রেণির বর্ণালীর তরঙ্গদৈর্ঘ্যের অনুপাত হবে—

(A) 1 : 2 (B) 1 : 4 (C) 4 : 1 (D) 2 : 1.

[ii] হাইড্রোজেন পরমাণুর বোর মডেল সংক্রান্ত নিম্নলিখিত বিষয়গুলির কোনটি ঠিক?

(A) n^{th} কক্ষপথের ব্যাসার্ধ n^2 এর সমানুপাতিক,

(B) n^{th} কক্ষপথে ইলেকট্রনের মোট শক্তি n -এর ব্যস্তানুপাতিক,

(C) যে কোন কক্ষপথে ইলেকট্রনের কৌণিক ভরবেগ $\frac{h}{2\pi}$ এর পূর্ণগুণিতকের সমান,

(D) যে কোন কক্ষপথে ইলেকট্রনের স্থিতিশক্তির মান তার গতিশক্তির মান অপেক্ষা বেশী।

[iii] হাইড্রোজেন নিউক্লিয়াস প্রোটনের চতুর্দিকে n^{th} বোর কক্ষপথে আবর্তনশীল ইলেকট্রনের কম্পাঙ্ক,

(A) n -এর ব্যস্তানুপাতিক

(B) n^2 এর ব্যস্তানুপাতিক

(C) n^3 এর ব্যস্তানুপাতিক

(D) \sqrt{n} এর ব্যস্তানুপাতিক।

[iv] মনে কর হাইড্রোজেন পরমাণুর মত প্রোটনের চতুর্দিকে $-3e$ তড়িৎধান যুক্ত একটি কণা পরিভ্রমণ করছে। হাইড্রোজেন পরমাণুর ইলেকট্রনের প্রথম মণ্ডরীকৃত কক্ষপথের ব্যাসার্ধ r_0 হলে, উক্ত কণার প্রথম মণ্ডরীকৃত কক্ষপথের ব্যাসার্ধ হবে—

- (A) $3r_0$ (B) $\frac{r_0}{3}$ (C) $\frac{r_0}{9}$ (D) $9r_0$

[v] হাইড্রোজেন পরমাণুর ইলেকট্রনের চতুর্থ কক্ষের ব্যাসার্ধ দ্বিতীয় কক্ষের ব্যাসার্ধের—
(A) তিনগুন (B) চারগুন (C) পাঁচগুন (D) কোনটাই না।

[vi] লাইম্যান শ্রেণির সর্বাপেক্ষা কম তরঙ্গদৈর্ঘ্য 911.6\AA । ঐ শ্রেণির সর্বাপেক্ষা দীর্ঘ তরঙ্গদৈর্ঘ্য—
(A) 1215\AA (B) ∞ (C) 2430\AA (D) 600\AA

[vii] ইলেকট্রন প্রথম বোর কক্ষপথ থেকে কতবার আবর্তন করে ?

- (A) $\frac{4\pi^2 mr^2}{h}$ (B) $\frac{h}{4\pi^2 mr^2}$ (C) $\frac{h}{2\pi mr}$ (D) $\frac{2\pi mr}{h}$

[viii] একটি ধাতব পৃষ্ঠের প্রারম্ভ কম্পাঙ্ক 6.2 eV শক্তির সমতুল্য এবং আপাতিত বিকিরণের নিবৃতি বিভব 5 V এর সমতুল্য। আপাতিত বিকিরণের একটি কোয়ান্টামের শক্তি—
(A) 6.2 eV (B) 5 eV (C) 1.2 eV (D) 11.2 eV

[Hints : $V = hv - hv_0$ or, $5 = hv - 6.2 \therefore hv = 11.2\text{ eV}$]

[ix] হাইড্রোজেন পরমাণুর ইলেকট্রন 0.53\AA ব্যাসার্ধের কক্ষপথে $2.2 \times 10^{16}\text{ ms}^{-1}$ গতিবেগে পরিক্রমা করে। এর চৌম্বক ভ্রামক,

- (A) $0.93 \times 10^{-21}\text{ A-m}^2$ (B) $0.93 \times 10^{-22}\text{ A-m}^2$
(C) $0.93 \times 10^{-23}\text{ A-m}^2$ (D) $0.93 \times 10^{-24}\text{ A-m}^2$

[Hints : চৌম্বক ভ্রামক = $\frac{e \cdot v \cdot r}{2}$]

[x] হাইড্রোজেন পরমাণুর ইলেকট্রন নিউক্লিয়াসের চতুর্দিকে n th বোর কক্ষপথে যে কম্পাঙ্কে আবর্তন করে তা—

- (A) n (B) n^2 (C) n^3 (D) \sqrt{n} ব্যতীত অন্য কোনোটি।

[xi] হাইড্রোজেন বর্ণালীর লাইম্যান শ্রেণির সর্ববৃহৎ তরঙ্গদৈর্ঘ্য ও বামার শ্রেণির সর্ববৃহৎ তরঙ্গ দৈর্ঘ্যের অনুপাত—

- (A) $\frac{13}{27}$ (B) $\frac{19}{27}$ (C) $\frac{5}{27}$ (D) $\frac{23}{27}$

[xii] H-atom কে আয়নিত করার প্রয়োজনীয় শক্তি—

- (A) 3.4 eV (B) 1.51 eV (C) 12.1 eV (D) 13.6 eV

[xiii] X-ray tube এ বিভবপ্রভেদ বৃদ্ধি করা হলে, নল থেকে নির্গত এক্সরশির—

- (A) তীব্রতা বৃদ্ধি পায় (B) সর্বাপেক্ষা নিম্ন তরঙ্গদৈর্ঘ্য বৃদ্ধি পায়
(C) তীব্রতা অপরিবর্তিত থাকে (D) সর্বাপেক্ষা নিম্ন তরঙ্গদৈর্ঘ্য হ্রাস পায়।

[xiv] মোজলে সূত্রানুযায়ী X-ray বৈশিষ্ট্য রেখার কম্পাঙ্ক ν টার্গেট মৌলের পারমাণবিক সংখ্যা Z এর সাথে নিম্নলিখিতভাবে সম্পর্কযুক্ত—

- (A) $\nu^2(Z-b)K$ (B) $(Z-b) = K\nu$
(C) $\sqrt{\nu} = K(Z-b)$ (D) $\nu = \sqrt{\frac{K-b}{Z}}$; b = একটি ধ্রুবসংখ্যা

[xv] বিকিরণের সনাতন তত্ত্ব অনুযায়ী ইলেকট্রন নিউক্লিয়াসের চতুর্দিকে বৃত্তাকার কক্ষপথে পরিভ্রমণ করলে—

- (A) বিকিরণ নিঃসৃত হবে এবং ব্যাসার্ধ অপরিবর্তিত থাকবে,
(B) কোন বিকিরণ নিঃসৃত হবে না,
(C) বিকিরণ নিঃসৃত হবে এবং ব্যাসার্ধ বেড়ে যাবে,
(D) বিকিরণ নিঃসৃত হবে এবং ব্যাসার্ধ কমে যাবে।

[xvi] X রশ্মি নল থেকে নির্গত X-রশ্মির ক্ষুদ্রতম তরঙ্গদৈর্ঘ্য 0.2475\AA । নলে কার্যকর বিভব প্রভেদ—

- (A) 5 KV (B) 25 KV (C) 50 KV (D) 100 KV

[xvii] একটি X-রশ্মি ফোটনের তরঙ্গদৈর্ঘ্য 0.02\AA । এর ভরবেগ—

- (A) $3.3 \times 10^{-22}\text{ kgms}^{-1}$ (B) $6.626 \times 10^{-21}\text{ kgms}^{-1}$
(C) $6.626 \times 10^{-24}\text{ kgms}^{-1}$ (D) $1.65 \times 10^{-22}\text{ kgms}^{-1}$

[xviii] X-রশ্মি নলে প্রযুক্ত বিভবপার্থক্য দ্বিগুণ করা হলে, উৎপন্ন X-রশ্মির ন্যূনতম তরঙ্গদৈর্ঘ্য হয়

- (A) দ্বিগুণ (B) অর্ধেক (C) চারগুণ (D) একই থাকে। [Jt. Entrance 2006]

[xix] হাইড্রোজেন পরমাণুর ইলেকট্রন $n = 3$ থেকে $n = 2$ কক্ষপথে সংক্রমিত হলে, বিকীর্ণ তরঙ্গের তরঙ্গদৈর্ঘ্য হবে—

- (A) $\lambda = \frac{R}{6}$ (B) $\lambda = \frac{36}{5R}$ (C) $\lambda = \frac{6}{R}$ (D) $\lambda = \frac{5R}{36}$

[xx] নিম্নলিখিত অবস্থা পরিবর্তনের ক্ষেত্রে কোনটির বেলায় হাইড্রোজেন পরমাণুর শক্তি পরিবর্তন সর্বাধিক হবে ?

- (A) $n = 2 \rightarrow n = 1$ (B) $n = 3 \rightarrow n = 2$
(C) $n = 4 \rightarrow n = 3$ (D) $n = 5 \rightarrow n = 4$

[xxi] n th বোরকক্ষপথে হাইড্রোজেন পরমাণুর ইলেকট্রনের শক্তি $E_n = -\frac{13.6}{n^2}$ eV। ইলেকট্রন প্রথম থেকে দ্বিতীয় কক্ষপথে সংক্রমণ করলে, প্রয়োজনীয় শক্তি—

- (A) 10.2 eV (B) 13.6 eV (C) 3.4 eV (D) 12.1 eV

[xxii] হাইড্রোজেন বোর মডেলে ইলেকট্রন চতুর্থ কক্ষপথে পরিভ্রমণ করলে, কৌণিক ভরবেগ হবে

- (A) $\frac{h}{2\pi}$ (B) $\frac{2h}{\pi}$ (C) h (D) $\frac{h}{4\pi}$

[xxiii] $n_2 = 1, 5, 6 \dots$ থেকে $n_1 = 3$ কক্ষপথে ইলেকট্রনের সংক্রমণ হলে কোন্ শ্রেণির বর্ণালী পাওয়া যাবে

- (A) লাইম্যান শ্রেণি (B) পাশেন শ্রেণি (C) বামার শ্রেণি (D) কোনটাই না।

[xxiv] হাইড্রোজেন পরমাণুর ভৌমত্তর শক্তি -13.6 eV। ইলেকট্রনের ঐ স্তরে স্থৈতিক শক্তি কত ?

- (A) -27.2 eV (B) -13.6 eV (C) +13.6 eV (D) 0 eV

(B) শূন্যস্থান পূরণ করো (Fill up the blanks) :

- [i] বৈশিষ্ট্যমূলক X-রশ্মি K_{α} রেখার তরঙ্গদৈর্ঘ্য 0.32\AA । ঐ মৌলের K_{β} রেখার তরঙ্গ দৈর্ঘ্য _____।
[ii] এক্সরশি নলে ইলেকট্রন 15000 volt বিভব প্রভেদ দ্বারা ত্বরান্বিত হচ্ছে। নলের অভ্যন্তরে নির্গত এক্সরশির গতিবেগ _____ ms^{-1} ।
[iii] হাইড্রোজেন পরমাণুর বোর মডেলে, n th কোয়ান্টাম স্তরে ইলেকট্রনের গতিশক্তি ও মোটশক্তির অনুপাত _____।
[iv] এক্সরশি নলের অ্যানোডে আঘাতকারী ইলেকট্রন সংখ্যা বৃদ্ধি পেলে নিঃসৃত এক্সরশির _____ বৃদ্ধি পায়।
[v] হাইড্রোজেন পরমাণুর ইলেকট্রনের নিম্নতম কৌণিক ভরবেগ _____।
[vi] ভৌমত্তরে হাইড্রোজেন পরমাণু 10.2 eV শক্তি শোষণ করলে। ইলেকট্রনের কক্ষীয় কৌণিক ভরবেগ _____ পরিমাণ বৃদ্ধি পাবে।

(C) ভুল কি নির্ভুল বিচার করো (True or false type) :

- [i] সূর্যের চতুর্দিকে পৃথিবীর গতি $L = \frac{nh}{2\pi}$ সূত্রানুযায়ী কোয়ান্টিত হলে, পৃথিবীর কোয়ান্টাম সংখ্যা হবে 2.5×10^{74} ।

[Hints : $mr^2\omega = \frac{nh}{2\pi} \therefore n = \frac{2\pi mr^2\omega}{h}$]

- [ii] কোন মৌলের বেলায় রীডবার্গ ধ্রুবসংখ্যা ঐ মৌলের ভরসংখ্যার সাথে পরিবর্তন করে।
[iii] দৃশ্যমান আলোকীয় বর্ণালীর তুলনায় এক্সরশি বৈশিষ্ট্য বর্ণালী খুবই জটিল।
[iv] কোন এক্সরশি নলে, নির্গত এক্সরশির ন্যূনতম তরঙ্গদৈর্ঘ্য নলে তড়িৎপ্রবাহের উপর নির্ভর করে।
[v] X-রশ্মি তড়িৎচুম্বকীয় তরঙ্গ। চৌম্বক বা তড়িৎক্ষেত্র এক্সরশির বিক্ষেপ তৈরি করে না।
[vi] হাইড্রোজেন বর্ণালীর বামার শ্রেণিতে সর্বনিম্ন ও সর্বোচ্চ তরঙ্গদৈর্ঘ্যের অনুপাত হয় 1 : 4।

→ গাণিতিক প্রশ্ন

1. 20 eV শক্তিশালী একটি ইলেকট্রনের সঙ্গে একটি হাইড্রোজেন পরমাণুর ধাক্কা লাগার ফলে পরমাণুটি উচ্চতর শক্তিস্তরে উদ্বীর্ণিত হল এবং ইলেকট্রনটির গতি কমে গেল। পরমুহূর্তে পরমাণু হতে 1216\AA তরঙ্গদৈর্ঘ্য বিশিষ্ট একটি ফোটন বের হল। ধাক্কা লাগার পর ইলেকট্রনের গতিবেগ কত হল?

[Jt. Entrance 1991] [Ans. $1.86 \times 10^6 \text{ ms}^{-1}$]

[সংকেত : ফোটনের শক্তি = $\frac{hc}{\lambda} = \frac{6.62 \times 10^{-27} \times 3 \times 10^{10}}{1216 \times 10^{-8}} \text{ erg} = \frac{6.62 \times 10^{-27} \times 3 \times 10^{10}}{1216 \times 10^{-8} \times 1.6 \times 10^{-12}} = 10.2 \text{ eV}$]

$$\frac{1}{2}mv^2 = 20 - 10.2 = 9.8 \text{ eV}$$

2. হাইড্রোজেন পরমাণুর একটি ইলেকট্রন 10.2 eV শক্তি শোষণ করে প্রাথমিক কক্ষপথ থেকে পরবর্তী কক্ষপথে স্থানান্তরিত হল। ইলেকট্রনটি পুনরায় প্রথম কক্ষপথে ফিরে এলে যে আলো নিঃসৃত হবে তার তরঙ্গদৈর্ঘ্য নির্ণয় করো। দেওয়া আছে : $h = 6.55 \times 10^{-27} \text{ erg-s}$; $c = 3 \times 10^{10} \text{ cms}^{-1}$; $1 \text{ eV} = 1.6 \times 10^{-12} \text{ erg}$. $1 \text{ \AA} = 10^{-8} \text{ cm}$. [Ans. 1200 \AA]
3. হাইড্রোজেন পরমাণুর বর্ণালীতে যে রেখাটি ইলেকট্রনের $n = 6 \rightarrow n = 4$ -এ সংক্রমণের ফলে উৎপন্ন হয় তার তরঙ্গদৈর্ঘ্য কত? রিডবার্গ ধ্রুবসংখ্যা = 109737 cm^{-1} [Ans. 26244 \AA]
4. একটি উদ্দীপিত হাইড্রোজেন পরমাণুর ইলেকট্রনের শক্তি -3.4 eV। বোর তত্ত্বানুযায়ী এ ইলেকট্রনের কৌণিক ভরবেগ নির্ণয় করো। রিডবার্গ ধ্রুবক (R_H) = $1.09737 \times 10^7 \text{ per metre}$; $h = 6.62676 \times 10^{-34} \text{ joule-s}$ এবং $c = 3 \times 10^8 \text{ ms}^{-1}$ [Ans. $2.11 \times 10^{-34} \text{ kg-ms}^{-1}$]

[সংকেত : $E = \frac{R_H h \cdot c}{n^2}$ এবং কৌণিক ভরবেগ = $\frac{nh}{2\pi}$]

5. 800 \AA এবং 700 \AA তরঙ্গদৈর্ঘ্যের অভিবর্ণি আলো যখন ভৌমস্তরে (ground state) অবস্থিত হাইড্রোজেন পরমাণুর ওপর আপতিত হয় তখন ঐ পরমাণু হতে যথাক্রমে 1.8 eV এবং 4 eV গতিশক্তিসম্পন্ন ইলেকট্রন নির্গত হয়। এথেকে প্ল্যাঙ্ক ধ্রুবসংখ্যার মান নির্ধারণ করো। [Ans. $6.57 \times 10^{-27} \text{ erg-s}$]

[সংকেত : $\frac{hc}{\lambda} = W + E$; W = আয়নন শক্তি এবং E = গতিশক্তি]

6. হাইড্রোজেনের বর্ণালীর বামার শ্রেণির প্রথম রেখার তরঙ্গদৈর্ঘ্য 6563 \AA. ওই শ্রেণির দ্বিতীয় রেখার তরঙ্গদৈর্ঘ্য কত? [Ans. 4861 \AA]
7. $-e$ একটি ইলেকট্রনের তড়িতের পরিমাণ এবং m তার ভর। এটি r -ব্যাসার্ধের একটি কক্ষপথে নিউক্লিয়াসের

চারদিকে ঘুরছে। $+E$ নিউক্লিয়াসের তড়িতের পরিমাণ। প্রমাণ করো যে ইলেকট্রনের শক্তি = $-\frac{me^2 E^2}{2L^2}$;

$L = mvr$ হল ইলেকট্রনের কৌণিক ভরবেগ।

[সংকেত : ইলেকট্রনের অভিকেন্দ্র বল = $\frac{mv^2}{r}$ এবং ইলেকট্রনের ওপর

নিউক্লিয়াসের আকর্ষণ বল = $\frac{Ee}{r^2}$ (c.g.s.)]

$\therefore \frac{mv^2}{r} = \frac{E \cdot e}{r^2} \dots (i)$ অথবা $mv^2 = \frac{Ee}{r} \dots (ii)$

এখন, ইলেকট্রনের শক্তি = গতিশক্তি + স্থিতিশক্তি

$$= \frac{1}{2}mv^2 - \frac{Ee}{r} = \frac{Ee}{2r} - \frac{Ee}{r} = -\frac{1}{2} \frac{Ee}{r}$$

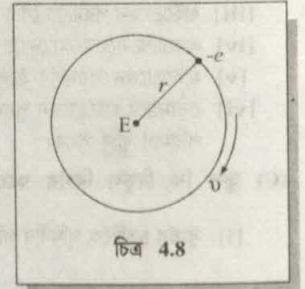
[স্থিতিশক্তি নেগেটিভ কারণ ইলেকট্রনের ওপর আকর্ষণ বল ক্রিয়া করে।]

\therefore ইলেকট্রনের শক্তি = $-\frac{1}{2} \cdot \frac{Ee}{r} = -\frac{1}{2} \cdot \frac{Ee}{L} \cdot mv$ [$\because L = mvr$]

আবার (i) নং সমীকরণ হতে লেখা যায়, শক্তি = $\frac{1}{2} \cdot \frac{Ee \cdot Ee}{L \cdot v \cdot r} = \frac{1}{2} \cdot \frac{E^2 e^2}{L} \cdot \frac{m}{L} = \frac{1}{2} \cdot \frac{E^2 e^2 m}{L^2}$

[$\because L = mvr$]

8. হাইড্রোজেন সদৃশ একটি পরমাণু $n \rightarrow 2n \rightarrow 1$ কোয়ান্টাম কক্ষপথে সংক্রমণ করলে, $2.467 \times 10^{15} \text{ Hz}$ কম্পাঙ্কের বিকিরণ নিঃসরণ করে। ঐ পরমাণু যখন $n \rightarrow 3$ হতে $n \rightarrow 1$ কোয়ান্টাম কক্ষপথে সংক্রমণ করবে তখন নিঃসৃত বিকিরণের কম্পাঙ্ক কত হবে? [Ans. $2.92 \times 10^{15} \text{ Hz}$]



9. হাইড্রোজেন সদৃশ একটি পরমাণু (পারমাণবিক সংখ্যা = z) উদ্দীপিত অবস্থায় n কোয়ান্টাম সংখ্যার কক্ষপথে অবস্থান করছে। ঐ উদ্দীপিত পরমাণুটি প্রথম উদ্দীপিত কক্ষপথে সংক্রমণ করতে পারে পর পর দুটি ফোটন নির্গত করে। ফোটন দুটির শক্তি যথাক্রমে 10.20 eV এবং 17.00 eV; অপর পক্ষে পরমাণুটি প্রাথমিক উদ্দীপিত অবস্থা হতে উদ্দীপিত কক্ষপথে সংক্রমণ করতে পারে আবার দুটি ফোটন নির্গত করে, যাদের শক্তি যথাক্রমে 4.25 eV এবং 5.59 eV; কোয়ান্টাম সংখ্যা n এবং পারমাণবিক সংখ্যা z নির্ণয় করো। হাইড্রোজেন পরমাণুর আয়নন শক্তি = 13.6 eV.

[Ans. $n = 6$; $z = 3$]

[সংকেতঃ $E_n = -\frac{13.6 z^2}{n^2} \text{ eV}$]

প্রথম ক্ষেত্রে, $10.20 = 13.6 z^2 \left(\frac{1}{x^2} - \frac{1}{n^2} \right)$ এবং $17.00 = 13.6 z^2 \left(\frac{1}{2x^2} - \frac{1}{x^2} \right)$

যোগ করলে, $27.20 = 13.6 z^2 \left(\frac{1}{4} - \frac{1}{n^2} \right) \dots \dots (i)$

দ্বিতীয় ক্ষেত্রে, $4.25 = 13.6 z^2 \left(\frac{1}{y^2} - \frac{1}{n^2} \right)$ এবং $5.59 = 13.6 z^2 \left(\frac{1}{3^2} - \frac{1}{y^2} \right)$

যোগ করলে, $10.20 = 13.6 z^2 \left(\frac{1}{9} - \frac{1}{n^2} \right) \dots \dots (ii) (i) \text{ এবং } (ii) \text{ ভাগ দাও}$

□ M.C.Q. প্রশ্নের উত্তর □

(A)

(i) C	(v) B	(ix) C	(xiii) D	(xvii) A	(xxi) A
(ii) A, C, D	(vi) A	(x) C	(xiv) C	(xviii) B	(xxii) B
(iii) C	(vii) B	(xi) C	(xv) D	(xix) B	(xxiii) D
(iv) B	(viii) D	(xii) B	(xvi) C	(xx) A	(xxiv) B

(B) [i] 0.27\AA ; [ii] 3×10^8 ; [iii] -1 ; [iv] তীব্রতা; [v] $\frac{h}{2\pi}$; [vi] $1.05 \times 10^{-24} \text{ J-s}$

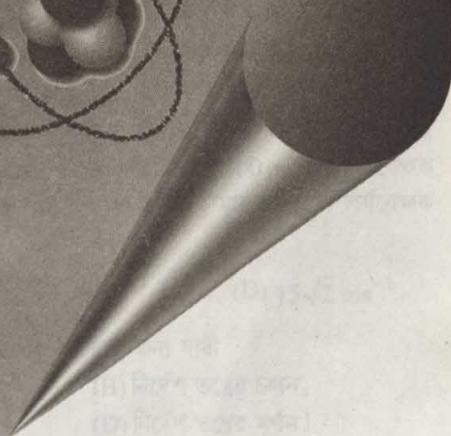
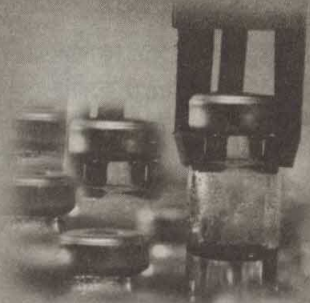
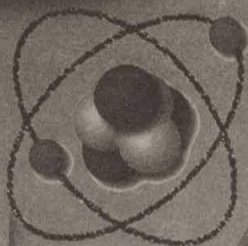
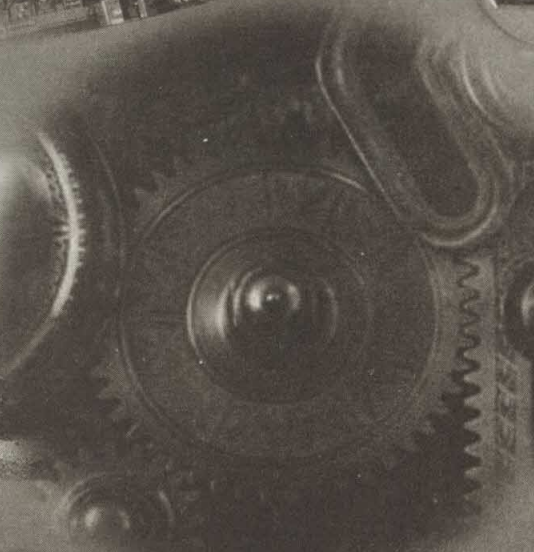
(C) [i] নির্ভুল, [ii] নির্ভুল, [iii] ভুল, [iv] ভুল, [v] নির্ভুল, [vi] ভুল।

পরিশিষ্ট - I

কয়েকটি সর্বজনীন ধ্রুবসংখ্যা

রাশি	প্রতীক	মান	একক
1. Gravitational constant	G	6.6726×10^{-11}	$N - m^2/kg^2$
2. Speed of light	c	2.9979×10^8	ms^{-1}
3. Avogadro constant	N_A	6.0221×10^{23}	mol^{-1}
4. Universal gas constant	R	8.315	$Jk^{-1}mol^{-1}$
5. Boltzmann constant	K	1.3806×10^{-23}	Jk^{-1}
6. Stefan constant	σ	5.671×10^{-8}	$Wm^{-2}k^{-4}$
7. Charge of proton	e	1.6022×10^{-19}	C
8. Mass of electron	m_e	9.1093×10^{-31}	kg
9. Atomic mass unit	u	1.6598×10^{-27}	kg
		931.2	MeV/c^2
10. Mass of neutron	m_n	1.67493×10^{-27}	kg
		1.00866	u
11. Mass of proton	m_p	1.67262×10^{-27}	kg
12. Permeability of vacuum	μ_0	$4\pi \times 10^{-7}$	Hm^{-1}
13. Permittivity of vacuum	ϵ_0	8.85×10^{-12}	$C^2N^{-1}m^{-2}$
14. Faraday constant	F	96485.3	$C mol^{-1}$
15. Planck constant	h	6.62007×10^{-34}	J - s
16. Rydberg constant	R_H	1.09737×10^7	m^{-1}
17. Bohr radius	a_0	5.2917×10^{-11}	m.

পরিশিষ্ট
APPENDIX



বহুমুখী পছন্দের প্রশ্ন [Multiple Choice type (MCQ)]

2007 সাল থেকে নতুন সিলেবাস অনুযায়ী জয়েন্ট এন্ট্রাস পরীক্ষায় কেবলমাত্র MCQ ধরনের প্রশ্ন থাকবে। 100 টি প্রশ্নের উত্তর 2 ঘণ্টা সময়ে শেষ করতে হবে। ছাত্রছাত্রীদের MCQ প্রশ্নের সঙ্গে পরিচিত করবার জন্য নীচে 20 টি প্রশ্নপত্রের (প্রত্যেকটিতে 50 টি প্রশ্ন) সমিবেশ করা হল। প্রশ্নগুলি জয়েন্ট এন্ট্রাস কাউন্সিলের নির্দেশিত কাঠামো অনুযায়ী দ্বাদশ শ্রেণির পাঠ্যের ওপর করা হয়েছে। জয়েন্ট এন্ট্রাস পরীক্ষার্থীরা এই প্রশ্নগুলি অনুশীলন করলে উপকৃত হবে বলেই মনে করি।

❀ SET 1 ❀

- 1 একটি পাত্রে হাইড্রোজেন ও অক্সিজেন গ্যাসের মিশ্রণ আছে। অক্সিজেন অণুগুলির গড় বর্গবেগের বর্গমূল
 (A) হাইড্রোজেনের একই রাশির 4 গুণ হবে, (B) হাইড্রোজেনের একই রাশির 16 গুণ হবে,
 (C) হাইড্রোজেনের একই রাশির $\frac{1}{4}$ গুণ হবে, (D) হাইড্রোজেনের একই রাশির $\frac{1}{16}$ গুণ হবে।
- 2 100g ভরের একটি বস্তুকে 5ms^{-1} গতিবেগ দিয়ে খাড়া উর্ধ্বে নিক্ষেপ করা হল। যে সময় ব্যাপী বস্তু উর্ধ্বে আরোহণ করল সেই সময়ে মহাকর্ষ বল কর্তৃক কৃত কার্য
 (A) -1.25J (B) 1.25J (C) 0.5J (D) -0.5J.
- 3 একটি ফাঁপা পরিবাহী গোলকের কেন্দ্রে বিন্দু আধান $+q$ রাখা হল। গোলকটিকে তাৎক্ষণিক ভাবে ভূমিসংলগ্ন করা হল এবং তারপর $+q$ আধানকে সরিয়ে নেওয়া হল। R যদি গোলকের ব্যাসার্ধ হয়, তবে $r_1 < R$ এবং $r_2 > R$ বিন্দুতে তড়িৎ ক্ষেত্রের প্রাবল্য যথাক্রমে E_1 এবং E_2 হলে
 (A) $E_1 = 0, E_2 = \frac{q}{r_2^2}$ (B) $E_1 = 0; E_2 = -\frac{q}{r_2^2}$
 (C) $E_1 = \frac{q}{r_1^2}; E_2 = \frac{q}{r_2^2}$ (D) $E_1 = -\frac{q}{r_1^2}; E_2 = -\frac{q}{r_2^2}$
- 4 একটি অসম তড়িৎ ক্ষেত্রের সঙ্গে 30° কোণ করে একটি তড়িৎ-দ্বিমেরু রাখা হল। নিম্নলিখিত গুলির মধ্যে দ্বিমেরু কোনটি অনুভব করবে?
 (A) কেবলমাত্র ক্ষেত্রের অভিমুখের সঙ্গে অভিলম্বভাবে রৈখিক বল,
 (B) টর্ক এবং রৈখিক বল,
 (C) কেবলমাত্র টর্ক,
 (D) ক্ষেত্রের অভিমুখে কেবলমাত্র রৈখিক বল।
- 5 বৃদ্ধতাপ প্রক্রিয়ায় দ্বিপরিমাণ গ্যাসের আপেক্ষিক তাপ
 (A) 8.4 (B) 12.6 (C) 6.3 (D) 0.
- 6 9500 Hz অপেক্ষা বেশি কম্পাঙ্কের শব্দ তরঙ্গ উৎপন্ন করতে করতে একটি উৎস স্থির পর্যবেক্ষকের দিকে 10ms^{-1} গতিবেগে অগ্রসর হচ্ছে। বায়ুতে শব্দের বেগ 300ms^{-1} । পর্যবেক্ষক সর্বাধিক 10,000 কম্পাঙ্কের শব্দ কানে শুনতে পায়। ν এর সর্বাধিক মান কি হলে পর্যবেক্ষক ঐ শব্দ শুনতে পাবে?
 (A) $\frac{15}{\sqrt{2}}\text{ms}^{-1}$ (B) 15ms^{-1} (C) 30ms^{-1} (D) $15\sqrt{2}\text{ms}^{-1}$.
- 7 একটি ঘূর্ণায়মান বস্তুর উপর অপকেন্দ্র বল উৎপন্ন হওয়ার জন্য দায়ী
 (A) কেবলমাত্র বস্তুর ঘূর্ণন গতি, (B) নির্দেশ তন্ত্রের চলন,
 (C) পৃথিবী ও বস্তুর মধ্যে মহাকর্ষীয় আকর্ষণ, (D) নির্দেশ তন্ত্রের ঘূর্ণন।

- 8 $\frac{1}{2}mv^2$ শক্তির একটি α কণা Ze আধানযুক্ত ভারী নিউক্লিয়াসকে আঘাত করল। α - কণার অগ্রগমনের ক্ষেত্রে সর্বাপেক্ষা ন্যূনতম দূরত্ব (closest approach) সমানুপাতিক হবে
(A) $\frac{1}{m}$ (B) $\frac{1}{v^4}$ (C) $\frac{1}{Ze}$ (D) v^2 .
- 9 একটি পাত্রে গ্যাস থাকলে তার দেওয়ালে চাপ পড়ে ; কারণ,
(A) গ্যাসের অণুগুলি পাত্রের দেওয়ালে গতিশক্তি জোগান দেয়,
(B) গ্যাসের অণুগুলি পাত্রের দেওয়ালের সাথে সংঘর্ষের সময় আটকে যায়,
(C) গ্যাসের অণুগুলি পাত্রের দেওয়ালের সাথে সংঘর্ষের সময় ভরবেগের পরিবর্তন হয়,
(D) গ্যাসের অণুগুলি দেওয়ালের দিকে ত্বরান্বিত হয়।
- 10 একটি ফোটন ধাতব প্লেটকে আঘাত করার কতক্ষণ পর আলোকজ ইলেকট্রন প্লেট থেকে নির্গত হয়?
(A) 10^{-10} s (B) 10^{-16} s (C) 10^{-1} s (D) 10^{-4} s.
- 11 চুম্বক পর্দা তৈরি করতে যে ধরনের পদার্থ ব্যবহার করা হয় তা
(A) নিম্ন চুম্বক ভেদ্যতা যুক্ত পদার্থ (B) উচ্চ চুম্বক ভেদ্যতা যুক্ত পদার্থ
(C) উচ্চ চুম্বক প্রবণতা যুক্ত পদার্থ (D) উচ্চ চুম্বক ধারণ ক্ষমতা যুক্ত পদার্থ।
- 12 অ্যান্টিমনি ও বিসমাথ ধাতুদ্বয়ের দ্বারা একটি তাপযুগ্ম তৈরি করা হল। যুগ্মের এক প্রান্ত উত্তপ্ত করলে এবং অপর প্রান্ত শীতল করলে, তড়িৎপ্রবাহ
(A) শীতল প্রান্তে বিসমাথ থেকে অ্যান্টিমনিতে যাবে,
(B) যুগ্ম দিয়ে কোনো তড়িৎ প্রবাহ যাবে না,
(C) শীতল প্রান্তে অ্যান্টিমনি থেকে বিসমাথে যাবে,
(D) উষ্ণ প্রান্তে অ্যান্টিমনি থেকে বিসমাথে যাবে।
- 13 10 cm ব্যাসার্ধের একটি পরিবাহী গোলককে একটি মাধ্যমে রাখা হল যার পরাবৈদ্যুতিক ধ্রুবক 8 ; এর ধারকত্ব
(A) 80 esu (B) 10 esu (C) $\frac{1}{9} \times 10^{-10}$ F (D) 80 F.
- 14 t মুহূর্তে একটি কুণ্ডলীর সঙ্গে সংশ্লিষ্ট ফ্লাক্স $\phi = 10t^2 - 50t + 250$; $t = 3$ s সময়ে আবিষ্ট তড়িৎ চালক বল
(A) -10V (B) 10V (C) 190V (D) -190V.
- 15 পৃথিবীপৃষ্ঠ থেকে পৃথিবীর ব্যাসার্ধের সমান উচ্চতায় অভিকর্ষজ ত্বরণের মান হবে
($g = 10 \text{ ms}^{-2}$)
(A) 5 ms^{-2} (B) 3 ms^{-2} (C) 8 ms^{-2} (D) 2.5 ms^{-2} .
- 16 একটি ধাতব পৃষ্ঠের প্রারম্ভ কম্পাঙ্ক 6.2 eV শক্তির উপযুক্ত। যে পৃষ্ঠে ঐ রশ্মি আপতিত হল তার নিবৃতি বিভব 5V ; আপতিত রশ্মি
(A) অবলোহিত অঞ্চলে অবস্থিত (B) দৃশ্যমান অঞ্চলে অবস্থিত
(C) এক্সরশ্মি অঞ্চলে অবস্থিত (D) অতি-বেগনি অঞ্চলে অবস্থিত।
- 17 একটি কণা সুস্থম বৃত্তীয় গতিতে আছে। নিম্নলিখিতদের মধ্যে কোনটি অসত্য?
(A) কণাটির বেগ ধ্রুবক,
(B) কণাটির রৈখিক দ্রুতি ধ্রুবক,
(C) কণাটির ত্বরণ বৃত্তের কেন্দ্রে অভিমুখে ক্রিয়া করে,
(D) কণাটির গতিবেগ ও ত্বরণ পরস্পরের সঙ্গে লম্ব।

- 18 একটি A.C জেনারেটরের কুণ্ডলীর পাক-সংখ্যা N ; প্রত্যেক পাকের ক্ষেত্রফল A এবং মোট রোধ R । কুণ্ডলীটি B চৌম্বকক্ষেত্রে ω কম্পাঙ্কে ঘুরছে। কুণ্ডলীতে আবিষ্ট তড়িৎচালক বলের সর্বাধিক মান

(A) $N.A.B$ (B) $N.A.B.R$ (C) $N.A.B.\omega$ (D) $N.A.B.R.\omega$

- 19 একটি 10cm লম্বা চুম্বকের মেরুশক্তি 10 একক। চুম্বকটিকে একটি সুখম চৌম্বকক্ষেত্রের সাথে 60° কোণ করে রাখলে উৎপন্ন টর্কের মান 639 dyne-cm। চৌম্বক ক্ষেত্রটির প্রাবল্য হল

(A) 4 ওরস্টেড (B) 6 ওরস্টেড
(C) 9 ওরস্টেড (D) 7.4 ওরস্টেড।

- 20 দুটি অন্তরিত প্লেটকে এরূপ সুখমভাবে আহিত করা হল যে তাদের ভিতর বিভব প্রভেদ হল $V_2 - V_1 = 20V$ (2নং প্লেটের বিভব উচ্চতর)। প্লেট দুটির

ব্যবধান = 0.1 m। প্লেট দুটি খুব বৃহৎ বলে গণ্য করা যেতে পারে। 1 নং প্লেটের ভিতর দিক থেকে একটি ইলেকট্রনকে স্থিরাবস্থা থেকে ছেড়ে দেওয়া হল। ইলেকট্রনটি যখন 2 নং প্লেটকে আঘাত করবে তখন তার গতিবেগ কত? ($e = 1.6 \times 10^{-19}C$; $m_e = 9.11 \times 10^{-31} \text{ kg}$)

(A) $7.02 \times 10^{12} \text{ ms}^{-1}$ (B) $1.87 \times 10^6 \text{ ms}^{-1}$
(C) $32 \times 10^{-19} \text{ ms}^{-1}$ (D) $2.65 \times 10^6 \text{ ms}^{-1}$

- 21 যদি 125 টি ফোঁটা যাদের প্রত্যেকটির ধারকত্ব $1\mu F$ একত্রিত হয়ে একটি বড় ফোঁটা তৈরি করে, তবে বড় ফোঁটাটির ধারকত্ব হবে

(A) $125 \mu F$ (B) $25 \mu F$ (C) $5 \mu F$ (D) $(125)^2 \mu F$

- 22 একটি ট্রানজিস্টারে সাধারণ ভূমি বিন্যাস ব্যবস্থায় সংগ্রাহক প্রবাহ 5.488 mA হয় যখন নিঃসারক প্রবাহ 5.60 mA। ভূমি প্রবাহ বিবর্ধক গুণক (B) হবে

(A) 50 (B) 51 (C) 48 (D) 49.

[Hints : $\beta = \frac{I_c}{I_b} = \frac{5.488}{I_b}$; আবার $I_e = I_b + I_c$ অথবা $5.60 = 5.488 + I_b$]

- 23 $I = 15 \sin(60\pi t)$ A দ্বারা একটি পরিবর্তী প্রবাহ প্রকাশিত হয় যেখানে t সেকেন্ড এককে আছে। প্রবাহমাত্রার শীর্ষমান, r.m.s মান এবং কম্পাঙ্ক যথাক্রমে

(A) $15\sqrt{2}$ A, 15A, 60Hz (B) 15A, $\frac{15}{\sqrt{2}}$ A, 60 Hz
(C) 15A, $15\sqrt{2}$ A, 30Hz (D) 15A, $\frac{15}{\sqrt{2}}$ A, 30Hz.

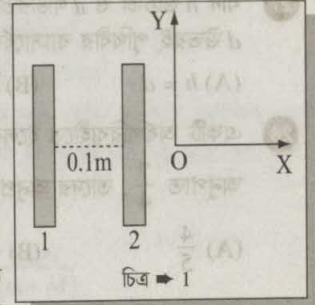
- 24 সূর্যকে R ব্যাসার্ধের গোলকাকার বস্তু রূপে ধরে নিয়ে পৃথিবীর উপর আপতিত মোট সৌরবিকিরণ কত হবে? বলা আছে: সূর্যের তাপমাত্রা = TK ; $r =$ সূর্য থেকে পৃথিবীর দূরত্ব। $r_0 =$ পৃথিবীর ব্যাসার্ধ এবং $\sigma =$ স্টিফান ধ্রুবসংখ্যা।

(A) $\pi r_0^2 R^2 \sigma T^4 / r^2$ (B) $r_0^2 R^2 \sigma T^4 / 4\pi r^2$
(C) $R^2 \sigma T^4 / r^2$ (D) $4\pi r_0^2 R^2 \sigma T^4 / r^2$

[Hints : প্রতি সেকেন্ডে সূর্য কর্তৃক বিকীর্ণ শক্তি = $\sigma \cdot T^4 \cdot 4\pi R^2$ । পৃথিবীর প্রতি একক ক্ষেত্রফলে

প্রতি সেকেন্ডে আপতিত শক্তি = $\frac{\sigma T^4 \cdot 4\pi R^2}{4\pi r^2} = \frac{\sigma \cdot R^2 \cdot T^4}{r^2}$

\therefore পৃথিবীর উপর মোট আপতিত শক্তি = $\pi r_0^2 \times \frac{\sigma R^2 T^4}{r^2} = \frac{\pi r_0^2 R^2 \sigma T^4}{r^2}$]



- 25 আলোর যে ধর্ম প্রমাণ করে যে আলোক তরঙ্গ তির্যক তা হল
 (A) প্রতিফলন (B) ব্যতিচার (C) অপবর্তন (D) সমবর্তন।
- 26 75.0 cm ব্যবধানের দুটি স্থির বিন্দুর মধ্যে একটি তার আটকানো আছে। এর অনুনাদী কম্পাঙ্ক দেখা গেল 420 Hz এবং 315 Hz; এর মধ্যে আর কোন অনুনাদী কম্পাঙ্ক নেই। তাহলে, তারের সর্বনিম্ন অনুনাদী কম্পাঙ্ক হবে
 (A) 1.05 Hz (B) 1050 Hz (C) 10.5 Hz (D) 105 Hz.

[Hints : $\frac{n}{2l}v = 315$; $\frac{n+1}{2l}v = 420$; অতএব, $\frac{v}{2l} = 105$]

- 27 যদি h উচ্চতা ও d গভীরতায় g -এর মান সমান হয়, তবে h ও d এর সম্পর্ক হবে (h এবং d উভয়ই পৃথিবীর ব্যাসার্ধের তুলনায় ছোটো)
 (A) $h = d$ (B) $h = 2d$ (C) $2h = d$ (D) $3h = d$.
- 28 একটি অর্ধপরিবাহীতে ইলেকট্রন ঘনত্ব এবং গহ্বর ঘনত্বের অনুপাত $\frac{7}{5}$ এবং তাদের প্রবাহের অনুপাত $\frac{7}{4}$, তাদের অনুপ্রবাহ গতিবেগের (drift velocity) অনুপাত হবে
 (A) $\frac{4}{5}$ (B) $\frac{5}{4}$ (C) $\frac{4}{7}$ (D) $\frac{5}{8}$.

[Hints : অনুপ্রবাহ গতিবেগ $v_d = \frac{I}{nAe}$ অথবা $v_d \propto \frac{I}{n}$.

দেওয়া আছে : $\frac{n_e}{n_h} = \frac{7}{5}$; $\frac{I_e}{I_h} = \frac{7}{4}$; $\therefore \left(\frac{v_d}{v_h}\right)_e = \frac{I_e}{I_h} \times \frac{n_h}{n_e} = \frac{7}{4} \times \frac{5}{7} = \frac{5}{4}$]

- 29 একই উপাদানে প্রস্তুত দুটি তার A এবং B এর দৈর্ঘ্যের অনুপাত 1 : 2 এবং তাদের ব্যাসের অনুপাত 2 : 1; যদি তার দুটিকে একই বল প্রয়োগ করে টানা হয় তবে তাদের মূলসুরের অনুপাত হবে
 (A) 4 (B) 1 : 4 (C) 2 (D) 1 : 2.
- 30 নিম্নলিখিত এককগুলির মধ্যে কোন্টির মাত্রাসূত্র ML^2/Q^2 যেখানে Q তড়িতাধান বুঝায় ?
 (A) হেনরি (H) (B) H/m^2 (C) ওয়েবার (Wb) (D) Wb/m^2 .

[Hints : স্বাবেশ গুণাঙ্কের মাত্রা সূত্র $[L] = ML^2T^{-2}A^{-2} = \frac{ML^2}{Q^2}$ [$\because Q = A.T$]

স্বাবেশ গুণাঙ্কের S.I. একক হল হেনরি ; অতএব প্রদত্ত মাত্রা সূত্রটি হবে হেনরির।

- 31 সৌর বর্ণালীর ফনহফার রেখাগুলি
 (A) নিঃসরণ বর্ণালী (B) শোষণ বর্ণালী
 (C) নিরবচ্ছিন্ন বর্ণালী (D) নিঃসরণ বর্ণালী ও শোষণ বর্ণালী উভয়ই।
- 32 1mm এবং 2mm ব্যাসার্ধের দুটি গোলকাকার পরিবাহী 5cm তফাতে রাখা আছে। পরিবাহী দুটিকে সুখমভাবে তড়িৎগ্রস্ত করে একটি পরিবাহী তার দিয়ে যুক্ত করা হল। স্থিতিবস্থায়া A এবং B গোলকদ্বয়ের পৃষ্ঠে তড়িৎক্ষেত্রের অনুপাত হবে
 (A) 1 : 2 (B) 2 : 1 (C) 1 : 4 (D) 4 : 1.

[Hints : তার দিয়ে যুক্ত করলে পরিবাহীদুটির একটি সাধারণ বিভব V হবে। A গোলকের পৃষ্ঠে

$$\text{তড়িৎক্ষেত্র } E_A = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Q_A}{R_A^2} = \frac{1 \times (\text{ধারকত্ব } C_A) \times V}{4\pi\epsilon_0 R_A^2} = \frac{3\pi\epsilon_0 R_A \times V}{4\pi\epsilon_0 R_A^2} = \frac{V}{R_A}$$

$$\text{একই ভাবে, } E_B = \frac{V}{R_B} \quad \therefore \frac{E_A}{E_B} = \frac{R_B}{R_A} = \frac{2}{1}]$$

- 33 একটি 5 লিটার পাত্রে কোন গ্যাসের 10^{26} সংখ্যক অণু আছে। প্রতিটি অণুর ভর 2.4×10^{-25} g এবং গড় বর্গবেগের বর্গমূল হল 3.5×10^4 cm/s। গ্যাসের চাপ হবে প্রায়

- (A) 2×10^6 dyne/cm² (B) 10^6 dyne/cm²
(C) 3×10^6 dyne/cm² (D) 5×10^6 dyne/cm²

- 34 m ভর এবং R ব্যাসার্ধের একটি সরু গোলাকার রিং নিজ অক্ষের চতুর্দিকে স্থির কৌণিক বেগ ω নিয়ে ঘুরছে। রিংয়ের ব্যাসের দুই বিপরীত প্রান্তে প্রত্যেকটি M ভরের দুটি বস্তু যুক্ত করা হল। রিংটি এখন ω' কৌণিক বেগে ঘুরলে

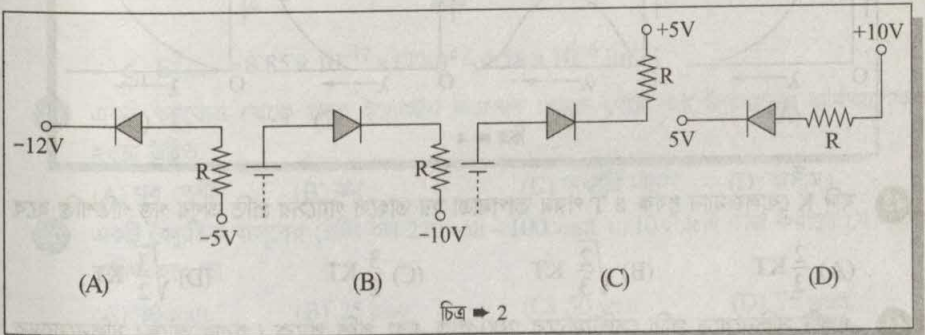
$$(A) \omega' = \frac{\omega(m-2M)}{(m+2M)} \quad (B) \omega' = \frac{\omega.m}{(m+M)}$$

$$(C) \omega' = \frac{\omega m}{(m+2M)} \quad (D) \omega' = \frac{\omega(m+2M)}{m}$$

- 35 1.6×10^{-27} kg ভরের একটি প্রোটিন 0.1 m ব্যাসার্ধের বৃত্তপথে পরিভ্রমণ করে যখন অভিকেন্দ্র বল ছিল 10^{13} N। এই সময়ে প্রোটিনের আবর্তন কম্পাঙ্ক হবে

- (A) 8×10^8 প্রতি সেকেন্ড (B) 4×10^8 প্রতি সেকেন্ড
(C) 2.5×10^8 প্রতি সেকেন্ড (D) 16×10^8 প্রতি সেকেন্ড

- 36 নীচের চিত্রগুলির মধ্যে (চিত্র 2) কোনটি বিপরীত বায়াসযুক্ত?



[Hints : অর্ধপরিবাহী ডায়োডে n -অঞ্চলকে উচ্চবিভব এবং p -অঞ্চলকে নিম্ন বিভব দেওয়া হয়]

- 37 যদি E পরিবর্তি বিভবের শীর্ষমান হয় তবে r.m.s. মান বা কার্যকর মান হবে

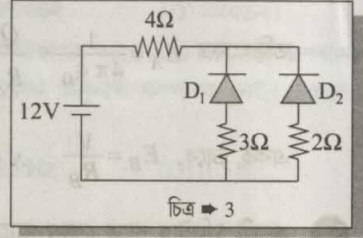
- (A) $\frac{E}{\pi}$ (B) $\frac{E}{\sqrt{\pi}}$ (C) $\frac{E}{\sqrt{2}}$ (D) $\frac{E}{2}$

- 38 3নং চিত্রে প্রদর্শিত বর্তনীতে দুটি আদর্শ অর্ধপরিবাহী ডায়োড বিপরীতমুখী সমান্তরাল সমবায়ে যুক্ত আছে। বর্তনীর তড়িৎপ্রবাহ মাত্রা হবে

(A) 2.0 A (B) 2.31 A
(C) 1.33 A (D) 1.71 A.

[Hints : D_1 ডায়োড বিপরীত বায়াসযুক্ত। অতএব, ঐ পথে কোন প্রবাহ যাবে না। বর্তনীর মোট রোধ = $4 +$

$2 = 6\Omega$. অতএব, প্রবাহমাত্রা = $\frac{12}{6} = 2A$].



- 39 নিম্নলিখিত ধর্মগুলির মধ্যে কোনটি ক্যাথোড রশ্মির জন্য নির্ভুল?
(A) ক্যাথোড রশ্মি ক্ষুদ্র তরঙ্গদৈর্ঘ্যের তড়িচ্চুম্বকীয় তরঙ্গ,
(B) ফটোগ্রাফী প্লেটের উপর ক্যাথোড রশ্মির কোনো বিক্রিয়া নেই,
(C) ক্যাথোড রশ্মি ঋণাত্মক আধান যুক্ত কণার স্রোত,
(D) ক্যাথোড রশ্মি মোটা ধাতব পাত ভেদ করতে পারে।

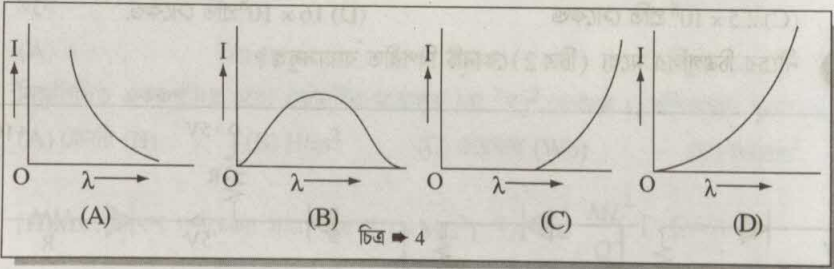
- 40 প্রত্যেকটি m ভরের চারটি বিন্দু আধান ABCD বর্গের চার কোণে রাখা আছে। বর্গের প্রতিটি বাহুর দৈর্ঘ্য l । A বিন্দুর ভিতর দিয়ে গত এবং BD কর্ণের সমান্তরাল এক অক্ষ সাপেক্ষে সমগ্র সংস্থার জড়্য ভ্রামক হবে

(A) $\sqrt{3}.ml^2$ (B) $3ml^2$ (C) ml^2 (D) $2ml^2$.

- 41 একটি ক্ষুদ্র দণ্ড-চুম্বকের মধ্যবিন্দু থেকে সমান দূরত্বের প্রান্ত ও পার্শ্ব বিন্দুদ্বয়ের চৌম্বক ক্ষেত্রের প্রাবল্যের অনুপাত হবে

(A) 2 : 1 (B) 1 : 2 (C) 2 : 3 (D) 1 : 1.

- 42 একটি আলোক-তড়িৎ কোশের অ্যানোড বিভব স্থির রাখা আছে। ক্যাথোডের উপর আপতিত আলোর তরঙ্গ দৈর্ঘ্য λ ক্রমান্বয়ে পরিবর্তন করা হল। প্লেট প্রবাহ I তরঙ্গ দৈর্ঘ্যের সাথে কোন্ চিত্রানুযায়ী পরিবর্তিত হবে?



- 43 যদি K বোলজম্যান ধ্রুবক ও T পরম তাপমাত্রা হয় তাহলে গ্যাসের প্রতি অণুর গড় গতিশক্তি হবে

(A) $\frac{2}{3}KT$ (B) $\sqrt{\frac{2}{3}}KT$ (C) $\frac{3}{2}KT$ (D) $\sqrt{\frac{3}{2}}KT$.

- 44 একটি সলিনয়েডে প্রতি সেন্টিমিটারে 200 পাক এবং প্রতি পাকে i প্রবাহ আছে। সলিনয়েডের কেন্দ্রে চৌম্বক ক্ষেত্রের মান 6.28×10^{-2} weber/m². আর একটি সলিনয়েডে প্রতি সেন্টিমিটারে 100 পাক এবং প্রতি পাকে $\frac{i}{3}$ প্রবাহ আছে। দ্বিতীয় সলিনয়েডের কেন্দ্রে চৌম্বক ক্ষেত্রের মান হবে

(A) $1.05 \times 10^{-5} \text{ Wb m}^{-2}$ (B) $1.05 \times 10^{-3} \text{ Wb m}^{-2}$
(C) $1.05 \times 10^{-4} \text{ Wb m}^{-2}$ (D) $1.05 \times 10^{-2} \text{ Wb m}^{-2}$.

- 45 একটি লোহার দণ্ডকে একটি চুম্বকের উত্তর মেরুর কাছে আনা হল,
 (A) দণ্ডের নিকটতম প্রান্তে শুধু মাত্র দক্ষিণ মেরু আবিষ্ট হবে,
 (B) দণ্ডের দূরতম প্রান্তে শুধুমাত্র দক্ষিণ মেরু আবিষ্ট হবে,
 (C) দণ্ডের নিকটতম প্রান্তে উত্তর মেরু ও দূরতম প্রান্তে দক্ষিণ মেরু আবিষ্ট হবে,
 (D) দণ্ডের নিকট প্রান্তে দক্ষিণ মেরু ও দূর প্রান্তে উত্তর মেরু আবিষ্ট হবে।
- 46 ${}_3\text{Li}^7$ এবং ${}_2\text{He}^4$ নিউক্লিয়াসে নিউক্লিয়ন প্রতি বন্ধনশক্তি যথাক্রমে 5.60 Mev এবং 7.06 Mev। নিম্নলিখিত বিক্রিয়ায় প্রোটনের শক্তি হবে : $P + {}_3\text{Li}^7 \rightarrow {}_2\text{He}^4$
 (A) 17.28 Mev (B) 1.46 Mev (C) 39.2 Mev (D) 28.24 Mev.
 [Hints : ${}_3\text{Li}^7$ নিউক্লিয়াসের বন্ধন শক্তি = $7 \times 5.60 = 39.2$ MeV; ${}_2\text{He}^4$ নিউক্লিয়াসের বন্ধনশক্তি = $4 \times 7.06 \rightarrow 28.24$ MeV \therefore প্রোটনের শক্তি = $2 \times {}_2\text{He}^4$ বন্ধনশক্তি $- {}_3\text{Li}^7$ বন্ধন শক্তি = $2 \times 28.24 - 39.2 = 17.28$ MeV]
- 47 দুটি অনুরূপ বাঁশী 27° তাপমাত্রায় 300 Hz কম্পাঙ্কের মূলসুর দেয়। একটি বাঁশির বাতাসের তাপমাত্রা বেড়ে 31°C হলে সেকেন্ডে স্বরকম্প শোনা যাবে
 (A) 1 (B) 3 (C) 2 (D) 4.
- 48 সূর্য থেকে আগত আলোর তড়িৎক্ষেত্রের r.m.s. মান 720 NC^{-1} । তড়িৎ চুম্বকীয় তরঙ্গের মোট গড় শক্তি-ঘনত্ব হবে
 (A) $6.37 \times 10^{-19} \text{ Jm}^{-3}$ (B) $81.25 \times 10^{-12} \text{ Jm}^{-3}$
 (C) $3.3 \times 10^{-3} \text{ Jm}^{-3}$ (D) $4.58 \times 10^{-6} \text{ Jm}^{-3}$.
 [Hints : তড়িচ্চুম্বকীয় তরঙ্গের মোট গড় শক্তি-ঘনত্ব = $\frac{1}{2} \epsilon_0 E_{rms}^2 + \frac{1}{2\mu_0} B_{rms}^2$
 এখন, $B_{rms} = \frac{E_{rms}}{c}$ এবং $c = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_0 \mu_0}}$
 \therefore শক্তি ঘনত্ব = $\frac{1}{2} \epsilon_0 E_{rms}^2 + \frac{\epsilon_0 \mu_0 E_{rms}^2}{2\mu_0}$
 $\therefore \epsilon_0 E_{rms}^2 = 8.85 \times 10^{-12} \times (720)^2 = 4.58 \times 10^{-6} \text{ Jm}^{-3}$]
- 49 একটি ক্যাথোড থেকে প্রচুর ইলেকট্রন নিঃসরণ পেতে গেলে এর উপাদানের কার্যঅপেক্ষক হওয়া উচিত
 (A) খুব বেশী (B) কম (C) মাঝারি মানের (D) অসীম।
- 50 একটি বৈদ্যুতিক বাল্বের রেটিং হল 220 volt – 100 watt। 110 volt এ কাজ করলে যে ক্ষমতা ব্যয়িত হবে তা
 (A) 40 watt (B) 25 watt (C) 50 watt (D) 75 watt.

❀ SET 2 ❀

- 1 একটি বিচ্ছিন্ন তন্ত্র বাকি জগতের সঙ্গে আদানপ্রদান করে
 (A) শক্তি (B) ভর
 (C) শক্তি ও ভর উভয়ই (D) উপরের কোনোটিই নয়।

2. তাপগতিবিদ্যার আদি সূত্র আমাদের ধারণা দেয়

- (A) চাপের (B) তাপমাত্রার
(C) তাপের (D) কার্যের।

3. একটি সরল দোলক $x-y$ তলে (চিত্র 5) দুলতে থাকলে দোলকের কৌণিক ভরবেগ

- (A) x -অক্ষের দিকে (B) y -অক্ষের দিকে
(C) z -অক্ষের দিকে (D) u -এর দিকে।

4. একটি বস্তু কণা কোনো অক্ষ সাপেক্ষে সমকৌণিক বেগে ঘুরতে থাকলে বস্তুকণার

- (A) বেগ ও ত্বরণ ধ্রুবক হবে,
(B) দ্রুতি ও ত্বরণ ধ্রুবক কিন্তু বেগ ধ্রুবক নয়,
(C) বেগ ও ত্বরণ ধ্রুবক নয় কিন্তু দ্রুতি ধ্রুবক,
(D) ত্বরণ ও দ্রুতি ধ্রুবক।

5. একটি ফাঁপা পাতলা গোলকের মধ্যে কোন বিন্দুতে মহাকর্ষীয় প্রাবল্যের মান

- (A) কেন্দ্র থেকে বিন্দুর দূরত্ব বাড়লে কমবে,
(B) ধ্রুবক হবে কিন্তু মান শূন্য নয়,
(C) শূন্য হবে,
(D) কেন্দ্র থেকে বিন্দুর দূরত্ব বাড়লে বাড়বে।

6. 6নং চিত্রে দুটি শ্রেণি সমবায়ে আবদ্ধ ধারক-কে 1000V তড়িৎ উৎপাদকের সঙ্গে যুক্ত দেখানো হয়েছে। ধারকের আধান হবে

- (A) $3 \times 10^{-9}C$ (B) $2 \times 10^{-9}C$
(C) $2.5 \times 10^{-9}C$ (D) $3.5 \times 10^{-9}C$ ।

7. $2.0 \mu F$ এবং $8.0 \mu F$ ধারকদ্বয়ের দুটি ধারক শ্রেণি সমবায়ে আবদ্ধ করে 300 V বিভব প্রভেদ প্রয়োগ করা হল। $2.0 \mu F$ ধারকের তড়িৎআধান হবে

- (A) $2.4 \times 10^{-4}C$ (B) $4.8 \times 10^{-4}C$ (C) $7.2 \times 10^{-4}C$ (D) $9.6 \times 10^{-4}C$ ।

8. কোন আদর্শ গ্যাসের অণুর বেগের বর্গ মাধ্যমূলের মান ধরা যাক c ; তাপমাত্রা স্থির রেখে আয়তন দুগুণ করলে, ওই মান হবে

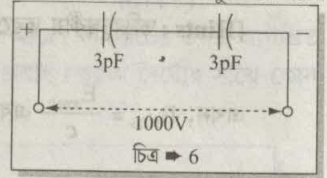
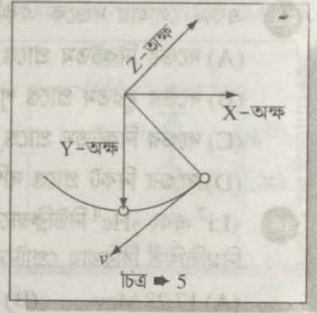
- (A) $2c$ (B) $\sqrt{2}c$ (C) $\frac{c}{\sqrt{2}}$ (D) c ।

9. m ভরের একটি কণা r ব্যাসার্ধের সমতল বৃত্তপথে ঘুরছে। এর কৌণিক ভরবেগ $=L$; কণার উপর কার্যরত অভিকেন্দ্র বল

- (A) $\frac{L}{mr^2}$ (B) $\frac{L^2}{m^2 r^2}$ (C) $\frac{L^2}{mr}$ (D) $\frac{L^2}{mr^3}$ ।

10. 65টি সুরশলাকাকে এমনভাবে সাজানো হল যে প্রত্যেকটি তার আগের শলাকার সঙ্গে সেকেন্ডে 3টি স্বরকম্প তৈরি করে। শেষ সুরশলাকার কম্পাঙ্ক প্রথম সুর শলাকার এক অষ্টক উর্ধ্বে। প্রথম ও শেষ শলাকার কম্পাঙ্ক হবে

- (A) 384, 192 (B) 192, 384 (C) 184, 392 (D) 392, 184.

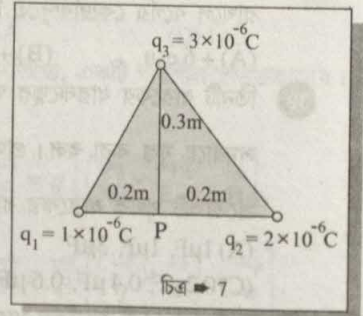


- 11 একটি সেনোমিটারে দুটি অভিন্ন উপাদানের তার লাগানো আছে ও এদের টানও অভিন্ন। তার দুটির দৈর্ঘ্য ও ব্যাসার্ধের অনুপাত 2 : 1 এবং 1 : 4 হলে, এদের কম্পাঙ্কের অনুপাত হবে
 (A) 2 : 1 (B) 1 : 2 (C) 1 : 1 (D) $\sqrt{2} : 1$.
- 12 তাপগতিবিদ্যার প্রথম সূত্রের প্রস্তাবনা থেকে জানা যায় যে
 (A) সংস্থায় কোন তাপ প্রবেশ করে না, বা নির্গত হয়ে যায় না,
 (B) তাপমাত্রা স্থির থাকে,
 (C) শক্তি সংরক্ষিত থাকে, (D) সব কার্যই যান্ত্রিক।
- 13 $4\mu\text{C}$ এবং $-2\mu\text{C}$ এর দুটি বিন্দু তড়িতাধান পরস্পর থেকে 1m দূরে বায়ুমধ্যে রাখা আছে। ঐ দুই আধানের সংযোগ রেখার ওপর যে বিন্দুতে লব্ধ তড়িৎক্ষেত্র শূন্য হবে তার দূরত্ব
 (A) 0.58 m (B) 2.42 m (C) 0.67 m (D) 0.81 m.
- 14 বোর হাইড্রোজেন মডেলে চতুর্থ কক্ষপথে ইলেকট্রনের কৌণিক গতিবেগ হবে
 (A) $\frac{h}{2\pi}$ (B) $\frac{2h}{\pi}$ (C) h (D) $\frac{h}{4\pi}$.
- 15 দুটি তরঙ্গ যাদের সমীকরণ হল $y_1 = a \sin \frac{2\pi}{\lambda} (vt - x)$ এবং $y_2 = a \sin \frac{2\pi}{\lambda} (vt + x)$ উপরিপাতন ঘটানো হল। উপরিপাতিত তরঙ্গের বিস্তার হবে
 (A) $2a \cos 2\pi xv$ (B) $2a \cos \left(\frac{2\pi x}{\lambda} \right)$
 (C) $2a \cos (2\pi x\lambda)$ (D) $2a \cos \left(\frac{2\pi x}{v} \right)$.
- 16 চৌম্বক বলরেখাগুলি
 (A) অসীমে ছেদ করে (B) কখনও ছেদ করে না
 (C) চুম্বকের অভ্যন্তরে ছেদ করে (D) উদাসীন বিন্দুতে ছেদ করে।
- 17 একটি দুমুখ খোলা নলের বায়ুস্তম্ভের মূলসুরের কম্পাঙ্ক n । নলটির অর্ধেক জলে ডোবালে বায়ুস্তম্ভের মূলসুরের কম্পাঙ্ক হবে
 (A) $\frac{n}{2}$ (B) $\frac{3n}{4}$ (C) n (D) $2n$.
- 18 কোনো আধানযুক্ত পরিবাহীকে সূতো দ্বারা ঝোলানো অন্য একটি আধানহীন পরিবাহী গোলকের খুব কাছে আনা হল। ঝোলানো পরিবাহীটি
 (A) আকর্ষিত হয়ে আধানযুক্ত পরিবাহীর গায়ে লেগে থাকবে,
 (B) আকর্ষিত বা বিকর্ষিত হবে না,
 (C) প্রথমে আকর্ষিত হবে এবং আধানযুক্ত পরিবাহীকে স্পর্শ করেই বিকর্ষিত হবে,
 (D) বিকর্ষিত হবে।
- 19 হাইড্রোজেন ও আয়নিত হিলিয়ামের বামার শ্রেণির বর্ণালীর তরঙ্গদৈর্ঘ্যের অনুপাত হবে
 (A) 1 : 2 (B) 1 : 4 (C) 4 : 1 (D) 2 : 1.
- 20 প্রারম্ভ কম্পাঙ্ক থেকে বেশি কম্পাঙ্ক বিশিষ্ট কোন আলোকরশ্মি একটি ধাতব পাতের উপর আপতিত হল। আলোক-তড়িৎ ক্রিয়ায় নির্গত ইলেকট্রনের গতিশক্তি
 (A) আলোকের তীব্রতার সমানুপাতিক ও কম্পাঙ্কের উপর নির্ভরশীল নয়,
 (B) আলোকের কম্পাঙ্কের সমানুপাতিক কিন্তু তীব্রতার উপর নির্ভরশীল নয়,
 (C) আলোকের তীব্রতা ও কম্পাঙ্কের সমানুপাতিক,
 (D) তীব্রতা কম্পাঙ্কের উপর নির্ভরশীল নয়।

- 21 একটি দণ্ড চুম্বকের দৈর্ঘ্যের মধ্যবিন্দু থেকে 10 cm এবং 200 cm দূরের দুই বিন্দুতে ক্ষেত্র প্রাবল্যের অনুপাত 18 : দণ্ডের চৌম্বক দৈর্ঘ্য হবে
(A) 24.9 cm (B) 12.65 cm (C) 29.3 cm (D) 22.65 cm.
- 22 M চৌম্বক ড্রামক যুক্ত একটি দণ্ড চুম্বককে সমান দুই টুকরোতে ভাগ করা হল। প্রত্যেক টুকরোর চৌম্বক ড্রামক হবে
(A) M (B) 2M (C) $\frac{M}{2}$ (D) শূন্য।
- 23 একটি সমবিভবযুক্ত তলের উপর এক বিন্দু থেকে অপর বিন্দুতে একক তড়িতাধান নিয়ে যাওয়া হল। তাতে
(A) আধান কার্য সম্পন্ন করল (B) আধানের উপর কার্য করা হল
(C) আধানের উপর কৃত কার্য ধ্রুবক (D) কোন কার্য করা হল না।
- 24 একটি চুম্বকের চৌম্বকড্রামক একটি গোলাকার তারকুণ্ডলীর অক্ষ বরাবর প্রসারিত এবং অভিমুখ কুণ্ডলীর দিকে। দণ্ডকে নিজের সমান্তরালে কুণ্ডলী থেকে দূরে সরিয়ে নেওয়া হল। এতে অপসারিত দণ্ড-চুম্বক থেকে দেখলে কুণ্ডলীর তড়িৎ প্রবাহ হবে
(A) শূন্য (B) ঘড়ির কাঁটার বিপরীতমুখী
(C) ঘড়ির কাঁটার অভিমুখী (D) কোনটাই না।
- 25 দুটি সমান্তরাল দীর্ঘ তারে 100A এবং 20A প্রবাহ যাচ্ছে। তার দুটিকে পরস্পর থেকে যত দূরে রাখলে তারা পরস্পরকে 0.08 Nm^{-1} বলে বিকর্ষণ করবে তা
(A) 1mm (B) 5 mm (C) 10mm (D) 15 mm.
- 26 $n_2 = 5, 6, \dots$ কক্ষপথ থেকে $n_1 = 4$ কক্ষপথে ইলেকট্রনের সংক্রমণ হলে পাওয়া যায়
(A) ফাভ শ্রেণি বর্ণালী (B) লাইম্যান শ্রেণি বর্ণালী
(C) পাশেন শ্রেণি বর্ণালী (D) ব্র্যাকেট শ্রেণি বর্ণালী।
- 27 একটি ট্যানজেন্ট গ্যালভ্যানোমিটারে 1A তড়িৎপ্রবাহ গেলে 30° বিক্ষেপ হয়। 60° বিক্ষেপের জন্য যে তড়িৎপ্রবাহ প্রয়োজন তা
(A) 3A (B) 2A (C) 4A (D) 1A.
- 28 চৌম্বক ক্ষেত্র 'B' এবং তড়িৎক্ষেত্র E এর যুগপৎ উপস্থিতিতে, একটি গতিশীল তড়িতাধানের (q) উপর মোট বল হবে
(A) $\vec{F} = q \left[\left(\vec{v} \times \vec{B} \right) + \vec{E} \right];$ (B) $\vec{F} = q \left[\left(\vec{v} \times \vec{E} \right) + \vec{B} \right];$
(C) $\vec{F} = q \left[\left(\vec{v} \times \vec{B} \right) + \vec{E} \right];$ (D) $\vec{F} = q \left[\left(\vec{v} \times \vec{E} \right) + \vec{B} \right].$
- 29 40 m m ব্যাসার্ধের এবং 250 পাকবিশিষ্ট একটি বৃত্তাকার কুণ্ডলী দিয়ে 20 mA তড়িৎ প্রবাহ যাচ্ছে। কুণ্ডলীর কেন্দ্রে চৌম্বক ক্ষেত্রের মান
(A) 0.785 G (B) 0.525 G (C) 0.629 G (D) 0.900 G.
- 30 পরিবর্তি প্রবাহে r.m.s. মান শীর্ষমানের
(A) 7% (B) 7.7% (C) 70% (D) 70.7%.
- 31 0.5 সেকেন্ড সময় একটি ছোট ধাতব তারকে একটি চুম্বকের মেরুদ্বয়ের ফাঁক দিয়ে টেনে নেওয়া হল। মেরুদ্বয়ের ফাঁকে চৌম্বকক্ষেত্রের মান $8 \times 10^{-4} \text{ Wb}$ । তারে আবিষ্ট তড়িচ্চালক বল
(A) 16mV (B) 1.6mV (C) 1.6 V (D) 16V.

32. হাইড্রোজেন পরমাণুর ভৌমস্তরের শক্তি -13.6 eV । এই স্তরে ইলেকট্রনের স্থিতিশক্তি কত?
 (A) -27.2 eV (B) -13.6 eV (C) $+13.6 \text{ eV}$ (D) 0 eV .
33. নিম্নলিখিত ধর্মগুলির মধ্যে কোনটি অসত্য?
 (A) শূন্য স্থির ভরের একটি কণিকা হল ফোটন,
 (B) ফোটন শূন্য ভরবেগ যুক্ত একটি কণিকা,
 (C) ফোটন শূন্যদেশে আলোর গতিবেগে চলাচল করে,
 (D) ফোটন অভিকর্ষজনিত টান অনুভব করে।
34. 1000 g ভর ও 1 ms^{-1} গতিবেগযুক্ত একটি ইম্পাত বলের সঙ্গে জড়িত দ্য ব্রয় তরঙ্গ দৈর্ঘ্য হবে
 ($h = 6.626 \times 10^{-34} \text{ J-s}$)
 (A) $6.626 \times 10^{-31} \text{ m}$ (B) $6.626 \times 10^{-37} \text{ m}$
 (C) $6.626 \times 10^{-34} \text{ m}$ (D) $6.626 \times 10^{-34} \text{ m}$.
- [Hints : $\lambda = \frac{h}{mv} = \frac{6.626 \times 10^{-34}}{100 \times 1}$]
35. দশমিক পদ্ধতিতে 11 সংখ্যাটিকে দ্বি' সংখ্যার রূপান্তরিত করলে, সংখ্যাটি হবে
 (A) 1101 (B) 1011 (C) 1110 (D) 1100.
36. একটি কম্পাঙ্কের দুটি সুর দুটি ভিন্ন বাদ্যযন্ত্র থেকে নিঃসৃত হলে, তাদের শনাক্ত করা যায়
 (A) শব্দের প্রাবল্য দ্বারা (B) শব্দের তীক্ষ্ণতা দ্বারা
 (C) শব্দের জাতি দ্বারা (D) শব্দের সুরধারা (melody) দ্বারা।
37. নিম্নলিখিত বস্তুগুলির মধ্যে কোনটি দ্বারা স্থায়ী চুম্বক তৈরি করা হয়?
 (A) তিরশ্চৌম্বক (B) পরাচৌম্বক (C) অয়শ্চৌম্বক (D) নরম লোহা।
38. একটি বর্গক্ষেত্রের তিন কোণায় $+1, +2, +3 \text{ esu}$ তড়িতাধান রাখা আছে। চতুর্থ কোণে কত আধান রাখলে বর্গের কেন্দ্রবিন্দুতে বিভব শূন্য হবে? বর্গের প্রতি বাহুর দৈর্ঘ্য $= \sqrt{2} \text{ cm}$
 (A) $+6 \text{ esu}$ (B) $+4 \text{ esu}$ (C) -6 esu (D) -4 esu .
39. তিনটি ধারকের ধারকত্বের অনুপাত $1 : 2 : 3$; এদের প্রথমে সমান্তরাল সমবায়, পরে শ্রেণি সমবায় যুক্ত করা হল। প্রথম ক্ষেত্রে তুল্য ধারকত্ব দ্বিতীয় ক্ষেত্রে অপেক্ষা $2\frac{8}{11} \mu\text{F}$ বেশি।
 প্রত্যেকটি পৃথক ধারকের ধারকত্ব
 (A) $1 \mu\text{F}, 1 \mu\text{F}, 3 \mu\text{F}$ (B) $0.5 \mu\text{F}, 1.0 \mu\text{F}, 1.5 \mu\text{F}$
 (C) $0.2 \mu\text{F}, 0.4 \mu\text{F}, 0.6 \mu\text{F}$ (D) $0.3 \mu\text{F}, 0.6 \mu\text{F}, 0.9 \mu\text{F}$.
40. ক্ষুদ্র ক্ষুদ্র 64 টি জলবিন্দু যাদের প্রত্যেকটির ব্যাসার্ধ ও তড়িতাধান সমান, তাদের মিশিয়ে একটি বড়ো বিন্দু গঠন করা হল। বড়ো বিন্দুর ধারকত্ব ও ছোটো বিন্দুর ধারকত্বের অনুপাত হবে
 (A) $4 : 1$ (B) $1 : 4$ (C) $2 : 1$ (D) $1 : 2$.
41. একটি সরু ও নমনীয় তারকে একটি আয়তাকার রূপ দিয়ে টেবিলের উপর রাখা হল এবং তার দিয়ে তীব্র তড়িৎপ্রবাহ পাঠানো হল। তারের বর্তমান আকার হবে
 (A) ত্রিভুজাকৃতি (B) বৃত্তাকার (C) ষড়ভুজাকার (D) আয়তাকার।
42. নিম্নলিখিত ফলাফলগুলির মধ্যে কোনটি পরিবর্তি প্রবাহ প্রদর্শন করে?
 (A) রাসায়নিক (B) তাপীয় (C) চৌম্বক (D) সব কটি।

43. নিম্নলিখিতদের মধ্যে কোনটি p-type অর্ধপরিবাহীর দৃষ্টান্ত?
 (A) বিশুদ্ধ জারমেনিয়াম (B) বিশুদ্ধ সিলিকন
 (C) আর্সেনিক অপদ্রব্য সহ সিলিকন (D) বোরন অপদ্রব্য সহ সিলিকন।
44. ফটো-ইলেকট্রন তলের উপর আপতিত আলোর তীব্রতা দ্বিগুণ করলে
 (A) নিঃসৃত ফোটনের কম্পাঙ্ক দ্বিগুণ হয় (B) নিঃসৃত ফোটনের কম্পাঙ্ক তিনগুণ হয়
 (C) নিঃসৃত ফোটনের সংখ্যা দ্বিগুণ হয় (D) নিঃসৃত ফোটনের সংখ্যা তিনগুণ হয়।
45. একটি কণার ভর স্থির ভরের দ্বিগুণ হবে যে গতিবেগ v হলে, তার মান
 (A) $v = c$ (B) $v = \sqrt{\frac{3}{4}} c$ (C) $v = \sqrt{\frac{3}{2}} c$ (D) $v = 2c$ ।
46. 2kg ভর সম্পূর্ণরূপে শক্তিতে রূপান্তরিত হলে যে শক্তি পাওয়া যাবে তা ($c = 3 \times 10^8 \text{ ms}^{-1}$)
 (A) $9 \times 10^{16} \text{ J}$ (B) $11 \times 10^{16} \text{ J}$ (C) $15 \times 10^{16} \text{ J}$ (D) $18 \times 10^{16} \text{ J}$ ।
47. নিউক্লিয়াসের স্থির ভর এবং নিউক্লিয়াসের অন্তর্ভুক্ত নিউক্লিয়নগুলির ভরের সমষ্টির পার্থক্যকে বলা হয়
 (A) সমাবেশ ভগ্নাংশ (packing fraction), (B) ভর ঘাটতি (mass-defect),
 (C) বন্ধন শক্তি, (D) সমস্থানিক ভর।
48. রেডিয়াম-A পদার্থের অর্ধায়ু 3 মিনিট। এর গড় আয়ু
 (A) 1.5 মিনিট (B) $\frac{3}{0.6931}$ মিনিট (C) 6 মিনিট (D) (3×0.6931) মিনিট।
49. যুগ্ম উৎপাদনে (pair production) আমরা পাই
 (A) নিউট্রন-ইলেকট্রন যুগ্ম
 (B) পজিট্রন-নিউট্রন যুগ্ম
 (C) ইলেকট্রন-প্রোটন যুগ্ম
 (D) ইলেকট্রন পজিট্রন যুগ্ম।
50. একটি ত্রিভুজের তিন কোণায় যথাক্রমে q_1, q_2 , এবং q_3 তড়িতাধান রাখা আছে। (চিত্র 7) ত্রিভুজের ভূমির মধ্যবিন্দুতে (P) তড়িৎ বিভব হবে
 (A) 55 kV (B) 45 kV
 (C) 63 kV (D) 49 kV।



● SET 3 ●

1. এক কিলোমোল গ্যাসকে রুদ্ধ তাপ প্রক্রিয়ায় সংকুচিত করতে 146 kJ কার্য করতে হয় এবং এই প্রক্রিয়ায় গ্যাসের তাপমাত্রা 7°C বৃদ্ধি পায়। ($R = 8.3 \text{ J mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$) গ্যাসটি
 (A) তিন পরমাণুক (B) এক পরমাণুক ও দ্বিপরমাণুকের মিশ্রণ
 (C) এক পরমাণুক (D) দ্বি পরমাণুক।

[Hints : $\Delta Q = \Delta U + \Delta W$; বৃদ্ধতাপ প্রক্রিয়ায় $\Delta Q = 0$; অতএব $\Delta U - \Delta W = -(-146) \text{ kJ} = 146$

$$\text{kJ. আবার } \Delta U = nC_v \Delta T \text{ অথবা } C_v = \frac{\Delta U}{n \cdot \Delta T} = \frac{146 \times 10^3}{1 \times 10^3 \times 7} \quad [\Delta T = 7^\circ \text{C} = 7\text{K}]$$

$$= 20.8 \text{ J mol}^{-1} \text{ K}^{-1}; \text{ দ্বি পরমাণুক গ্যাসের ক্ষেত্রে, } C_v = \frac{5}{2} R = \frac{5}{2} \times 8.3 = 20.8 \text{ J mol}^{-1} \text{ K}^{-1}]$$

2. ভুল উক্তিটি চিহ্নিত করো :
- (A) পরিবর্তী তড়িৎ প্রবাহ ছাড়া চুম্বকের চৌম্বকত্ব নাশ করা সম্ভব,
 (B) একটি স্থানের চৌম্বক মধ্যতল হল সেই তল যার উপর ঐ তল ও পৃথিবীর চৌম্বক মেরুদ্বয় অবস্থিত,
 (C) চৌম্বক রক্ষক দ্বারা চুম্বকের চৌম্বকত্ব নাশ করা হয়,
 (D) এক মেরু চুম্বক নির্মাণ সম্ভব নয়।
3. ${}_{92}\text{U}^{238}$ থেকে ${}_{92}\text{U}^{234}$ তে রূপান্তরের সময় দুবার নিঃসরণের মধ্যে একবার α কণা হলে অন্যবার হবে
- (A) দুটি β^- কণা (B) দুটি β^- এবং একটি β^+
 (C) একটি β^+ এবং একটি γ ফোটন (D) একটি β^+ এবং একটি β^- ।
4. একটি ধাতুর ক্ষেত্রে প্রারম্ভ তরঙ্গদৈর্ঘ্য 3800 \AA । 2000 \AA তরঙ্গদৈর্ঘ্যের অতিবেগুনি আলো ঐ ধাতুর উপর আপতিত হলে, নির্গত ফটো ইলেকট্রনের সর্বাধিক গতিশক্তি হবে ($h = 6.62 \times 10^{-34} \text{ J-s}$)
- (A) $4.0 \times 10^{-19} \text{ J}$ (B) $4.2 \times 10^{-19} \text{ J}$ (C) $4.7 \times 10^{-19} \text{ J}$ (D) $5.0 \times 10^{-19} \text{ J}$ ।
5. একটি ইলেকট্রন $4 \times 10^7 \text{ ms}^{-1}$ বেগে গতিশীল। ইলেকট্রন ভোটে ইলেকট্রনের শক্তি হবে (দেওয়া আছে : ইলেকট্রনের ভর $= 9 \times 10^{-31} \text{ kg}$ এবং আধান $= 1.6 \times 10^{-19} \text{ coulomb}$)
- (A) 4 keV (B) 4.5 keV (C) 5 keV (D) 5.5 keV ।
6. একটি তামা ভোল্টামিটারে 1.5 A তড়িৎ প্রবাহ 5 মিনিট প্রবাহিত হলে, ঋণাত্মক তড়িদ্বারে যে পরিমাণ তামা উৎপন্ন হবে তা (তামার $E.C.E. = 0.3294 \times 10^{-3} \text{ gC}^{-1}$)
- (A) 1.5 g (প্রায়) (B) 2.0 g (প্রায়) (C) 2.4 g (প্রায়) (D) 1.0 g (প্রায়)।
7. আলোক তড়িৎ ক্রিয়া থেকে প্রমাণিত হয়
- (A) ইলেকট্রনের তরঙ্গ ধর্ম (B) আলোর ঋণাত্মক আধান
 (C) আলোর তরঙ্গ ধর্ম (D) আলোর কণা ধর্ম।
8. M ভরের এবং r ব্যাসার্ধের সুযম এবং পাতলা গোলাকার পাতের কেন্দ্র দিয়ে এবং পাতের তলের অভিলম্বভাবে গত অক্ষের সাপেক্ষে পাতের জাড্যামক হবে
- (A) Mr^2 (B) $\frac{1}{2} Mr^2$ (C) $\frac{1}{4} Mr^2$ (D) $\frac{2}{5} Mr^2$ ।
9. পৃথিবীর গড় ঘনত্ব
- (A) g -এর সমানুপাতিক (B) g -এর ব্যস্তানুপাতিক
 (C) g -এর উপর নির্ভর করে না (D) g -এর জটিল অপেক্ষক (complex function)।
10. 16 g হিলিয়াম এবং 16 g অক্সিজেন মেশানো হল। মিশ্রণের $\frac{C_p}{C_v}$ অনুপাত হবে
- (A) 1.4 (B) 1.54 (C) 1.59 (D) 1.62।

- 11 একটি ফাঁপা পরিবাহী গোলক কিছু পরিমাণ আধান বহন করে। গোলকের অভ্যন্তরস্থ কোনো বিন্দুতে বিভব

- (A) সর্বদা শূন্য (B) সর্বদা একটি ধনাত্মক ধ্রুবক
(C) সর্বদা একটি ঋণাত্মক ধ্রুবক (D) ধ্রুবক যার চিহ্ন আধানের চিহ্নের অনুরূপ।

- 12 একটি আলোকতড়িৎ কোশ 1m দূরে রাখা একটি ক্ষুদ্র এবং উজ্জ্বল আলোক উৎস দ্বারা আলোকিত। উৎসটি $\frac{1}{2}$ m দূরে থাকলে, ফটো-কোশ কর্তৃক নিঃসৃত ইলেকট্রনের সংখ্যা

- (A) 2 গুণ হ্রাস পাবে (B) 2 গুণ বৃদ্ধি পাবে
(C) 4 গুণ হ্রাস পাবে (D) 4 গুণ বৃদ্ধি পাবে।

[Hints : $I \propto \frac{1}{r^2}$; $\therefore I' \propto \frac{1}{(1/2)^2}$ অথবা $I' \propto 4$]

- 13 একটি তাপগতীয় সংস্থা A অবস্থা থেকে B অবস্থায় গেল 8 নং প্রদর্শিত I এবং II পদ্ধতিতে। ঐ পদ্ধতি দুটিতে অভ্যন্তরীণ শক্তির পরিবর্তন ΔU_1 এবং ΔU_2 হলে

- (A) $\Delta U_2 > \Delta U_1$ (B) $\Delta U_2 < \Delta U_1$
(C) $\Delta U_1 = \Delta U_2$ (D) ΔU_1 এবং ΔU_2 সম্পর্ক নির্ণয় করা যাবে না।

- 14 X-রশ্মি নলে প্রযুক্ত বিভব-পার্থক্য দিগুণ করা হলে উৎপন্ন X-রশ্মির ন্যূনতম তরঙ্গ দৈর্ঘ্য হয়

- (A) দিগুণ (B) অর্ধেক (C) চারগুণ (D) একই থাকে।

- 15 পূর্ণ একমুখী করণের জন্য নীচের কোন পদ্ধতিটি ব্যবহার করা হয়?

- (A) একটি P-N সংযোগ অর্ধপরিবাহী ডায়োড ব্যবহার করা হয়,
(B) দুটি P-N সংযোগ ডায়োড অবশ্যই ব্যবহার করতে হবে,
(C) ট্রান্সফর্মার সহযোগে একটি P-N সংযোগ ডায়োড ব্যবহার করা যায়,
(D) উপরের যে-কোন পদ্ধতি ব্যবহার করা যায়।

- 16 একটি সিস্কের দড়ি (s) দিয়ে একটি তড়িতাহিত বল B-কে ঝুলানো আছে [চিত্র 9]। দড়িটি একটি বড়ো তড়িতাহিত পাত P-এর সঙ্গে θ কোণ করে আছে। পাতের আধানের তলমাত্রিক ঘনত্ব σ হবে

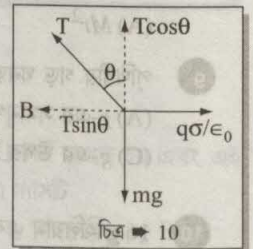
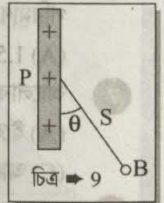
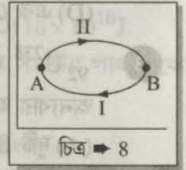
- (A) $\sin \theta$ -র সমানুপাতিক (B) $\tan \theta$ -র সমানুপাতিক
(C) $\cos \theta$ -র সমানুপাতিক (D) $\cot \theta$ -র সমানুপাতিক।

[Hints : $T \sin \theta = \frac{q \cdot \sigma}{\epsilon_0}$ (i) $T \cos \theta = mg$ (ii) (চিত্র 10)]

$\therefore \tan \theta = \frac{\sigma \cdot q}{\epsilon_0 mg}$ অথবা $\therefore \sigma \propto \tan \theta$]

- 17 $+8q$ এবং $-2q$ আধান যুক্ত দুটি বিন্দু আধান যথাক্রমে $x=0$ এবং $x=L$ বিন্দুতে স্থাপিত আছে। যে বিন্দুতে উভয়ের দ্রবন তড়িৎ ক্ষেত্র শূন্য x -অক্ষের ওপর তার অবস্থান হবে

- (A) $8L$ (B) $4L$
(C) $2L$ (D) $\frac{L}{4}$



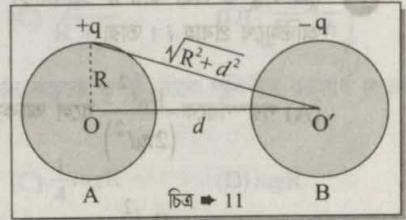
- 18 একটি দণ্ড চুম্বকের দৈর্ঘ্য 10 cm এবং প্রস্থচ্ছেদ 2 cm^2 । এর ভ্রামক 100 cgs একক। দণ্ডের চুম্বকনের পরিমাত্রা
 (A) 50 একক (B) 5 একক (C) 2.5 একক (D) 10 একক।

- 19 যদি w কোন ধাতব তলের ফটো-ইলেকট্রিক কার্য-অপেক্ষা হয়, v হয় প্রযুক্ত আলোর কম্পাঙ্ক m নির্গত ফটো-ইলেকট্রনের ভর, এবং u হয় ঐ ফটো ইলেকট্রনের বেগ তাহলে আইনস্টাইনের ফোটো ইলেকট্রিক সমীকরণটি হবে

(A) $h\nu + \omega = \frac{1}{2}mv^2$ (B) $h\nu + h\omega = \frac{1}{2}mv^2$
 (C) $h\nu - \omega = \frac{1}{2}mv^2$ (D) $h\nu - h\omega = \frac{1}{2}mv^2$

- 20 প্রত্যেকটির ব্যাসার্ধ R এরূপ দুটি সরু তারের রিং সমাক্ষীয় ভাবে d দূরত্বে রাখা আছে (চিত্র 11)। রিং দুটিতে আধান $+q$ এবং $-q$; রিংদুটির কেন্দ্রবিন্দুর ভিতর বিভব-পার্থক্য

(A) শূন্য
 (B) $\frac{q}{4\pi\epsilon_0} \left(\frac{1}{R} - \frac{1}{\sqrt{R^2 + d^2}} \right)$
 (C) $\frac{qR}{4\pi\epsilon_0 d^2}$
 (D) $\frac{q}{2\pi\epsilon_0} \left(\frac{1}{R} - \frac{1}{\sqrt{R^2 + d^2}} \right)$



[Hints : O বিন্দুতে বিভব = A-র দরুন বিভব + B এর দরুন বিভব = $\frac{K(q)}{R} - \frac{Kq}{\sqrt{R^2 + d^2}}$

O' বিন্দুতে বিভব = $-\frac{K.q}{R} + \frac{K.q}{\sqrt{R^2 + d^2}}$

\therefore বিভব-প্রভেদ = $\frac{q}{2\pi\epsilon_0} \left[\frac{1}{R} - \frac{1}{\sqrt{R^2 + d^2}} \right] \left[K = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \right]$

- 21 সমদূরত্বে রাখা n সংখ্যক প্লেট দ্বারা একটি ধারক তৈরি করা হল। প্লেট গুলি একটি অন্তর একটি যুক্ত। পরপর দুটি প্লেটের ভিতর ধারকত্ব c হলে মোট ধারকত্ব হবে
 (A) c (B) nc (C) $(n-1)c$ (D) $(n+1)c$ ।

- 22 একটি উত্তাপক কুণ্ডলীকে দু'টুকরো করে এক টুকরোকে উত্তাপক হিসাবে ব্যবহার করা হল। এতে উৎপন্ন তাপ

(A) এক চতুর্থাংশ হবে (B) অর্ধেক হবে (C) দ্বিগুণ হবে (D) চারগুণ হবে।

- 23 কোন একটি রোধক কুণ্ডলীর উপর স্থির বিভবপ্রভেদ আরোপ করলে প্রতি সেকেন্ডে w_1 তাপের উদ্ভব হয়। দ্বিতীয় একটি কুণ্ডলীর ক্ষেত্রে ঐ তাপ উদ্ভবের হারের মান w_2 ; কুণ্ডলী দুটিকে

সমান্তরালে যুক্ত করলে ঐ মান w এবং শ্রেণি সমবায়ে যুক্ত করলে w' হয়। যদি সমবায়ের দু-পাশে ঐ একই বিভব-প্রভেদ আরোপ করা হয় তবে

$$(A) \frac{w'}{w} = \frac{w_1 + w_2}{\sqrt{w_1 w_2}}$$

$$(B) \frac{w'}{w} = \frac{w_1}{w_2} + \frac{w_1}{w_2}$$

$$(C) \frac{w'}{w} = \frac{(w_1 + w_2)^2}{w_1 w_2}$$

$$(D) \frac{w'}{w} = \frac{w_1 w_2}{(w_1 + w_2)^2}$$

- 24 একটি স্থানু তরঙ্গের সমীকরণ দেওয়া আছে $y = 10 \sin \frac{\pi x}{4} \cos 2\pi t$ cm ; দুটি পাশাপাশি

নিম্পন্দ বিন্দুর দূরত্ব হবে

$$(A) 2 \text{ cm}$$

$$(B) 4 \text{ cm}$$

$$(C) 1 \text{ cm}$$

$$(D) 8 \text{ cm}$$

- 25 দুটি সরু ও লম্বা তার d ব্যবধানে পরস্পরের সমান্তরালে রাখা আছে। তাদের ভিতর একই অভিমুখে প্রবাহ i । তারা

$$(A) \text{ পরস্পরকে } \frac{\mu_0 i^2}{(2\pi d^2)} \text{ বলে আকর্ষণ করবে, } (B) \text{ পরস্পরকে } \frac{\mu_0 i^2}{(2\pi d^2)} \text{ বলে বিকর্ষণ করবে}$$

$$(C) \text{ পরস্পরকে } \frac{\mu_0 i^2}{2\pi d} \text{ বলে আকর্ষণ করবে, } (D) \text{ পরস্পরকে } \frac{\mu_0 i^2}{2\pi d} \text{ বলে বিকর্ষণ করবে।}$$

- 26 একটি তামা ও একটি রূপা ভোল্টমিটার সমান্তরাল সমবায়ে যুক্ত আছে। যখন ভোল্টমিটার দিয়ে মোট q পরিমাণ তড়িৎপ্রবাহ যায়, তখন ভোল্টমিটার দুটিতে সমপরিমাণ ধাতু জমা হয়। তামা ও রূপার তড়িৎ-রাসায়নিক তুল্যাঙ্ক যথাক্রমে z_1 এবং z_2 হলে, রূপা ভোল্টমিটারে যে পরিমাণ তড়িৎ প্রবাহিত হল তা

$$(A) \frac{z_1}{z_2} \cdot q$$

$$(B) \frac{z_2}{z_1} \cdot q$$

$$(C) \frac{q}{1 + z_1/z_2}$$

$$(D) \frac{q}{1 + z_2/z_1}$$

- 27 নিম্নলিখিত গুলির মধ্যে কোন্টি অসত্য? একটি রূপান্তরকে

(A) গৌণ কুণ্ডলীর বিভব মুখ্যকুণ্ডলীর বিভব থেকে অধিক,

(B) গৌণ কুণ্ডলীতে প্রবাহমাত্রা মুখ্যকুণ্ডলীর প্রবাহমাত্রার কম,

(C) গৌণ কুণ্ডলীতে ক্ষমতা মুখ্যকুণ্ডলীর ক্ষমতার অধিক,

(D) গৌণ কুণ্ডলীতে পাকের সংখ্যা মুখ্যকুণ্ডলীর পাকের সংখ্যার অধিক।

- 28 একটি 220 volt 40 watt বাতির রোধের মান হবে

$$(A) 1210 \Omega$$

$$(B) 1000 \Omega$$

$$(C) 800 \Omega$$

$$(D) 500 \Omega$$

- 29 একটি অসম চৌম্বক ক্ষেত্রে একটি চৌম্বক শলাকা রাখা আছে। শলাকা

(A) বল ও টর্ক অনুভব করবে

(B) বল অনুভব করবে কিন্তু টর্ক নয়

(C) টর্ক অনুভব করবে বল নয়

(D) কিছুই অনুভব করবে না।

- 30 একটি নিরেট গোলক শূন্য দেশে আবর্তন করছে। গোলকের ভর অপরিবর্তিত রেখে ব্যাসার্ধ বাড়ালে নিম্নলিখিত ধর্মগুলির মধ্যে কোন্টি অপরিবর্তিত থাকবে?

(A) জাড্য ভ্রামক

(B) কৌণিক ভরবেগ

(C) কৌণিক বেগ

(D) আবর্ত গতিশক্তি।

- 31 শূন্য দেশে S.I এককে চৌম্বক ভেদ্যতার মান
(A) $\pi \times 10^{-7}$ (B) $2\pi \times 10^{-7}$ (C) $4\pi \times 10^{-7}$ (D) $8\pi \times 10^{-7}$.
- 32 আত্মবিচুম্বকন বন্ধ করার জন্য চুম্বক রক্ষক ব্যবহার করা হয়, কারণ
(A) চুম্বক রক্ষক চুম্বককে শক্তিশালী করে,
(B) চুম্বক রক্ষক ব্যবহার করলে মুক্ত মেরু থাকে না,
(C) চুম্বক রক্ষকগুলি চুম্বকে পরিণত হওয়ার জন্য চুম্বক প্রাবল্য বৃদ্ধি পায়,
(D) সমস্ত ব্যাখ্যাগুলি সত্য।
- 33 ভূপৃষ্ঠ থেকে h উচ্চতায় m ভরের এবং R ব্যাসার্ধের একটি কৃত্রিম উপগ্রহ ভূপ্রদক্ষিণ করছে। ভূ-পৃষ্ঠে অভিকর্ষজ ত্বরণ g হলে, উপগ্রহের কক্ষীয় দ্রুতি হবে
(A) $g \cdot h$ (B) $\frac{gR}{R-h}$ (C) $\frac{gR^2}{R+h}$ (D) $\left(\frac{gR^2}{R+h} \right)^{\frac{1}{2}}$
- 34 ভূপৃষ্ঠে অভিকর্ষজ ত্বরণ g হলে, m ভরের কোন বস্তুকে ভূপৃষ্ঠ থেকে পৃথিবীর ব্যাসার্ধ R এর সমান উচ্চতায় নিলে তার স্থিতিশক্তি লাভ হবে
(A) $2mgR$ (B) $\frac{1}{2}mgR$ (C) $\frac{1}{4}mgR$ (D) mgR .
- 35 ধর, মহাকর্ষ বল দূরত্বের n^{th} ঘাতের সঙ্গে ব্যস্তানুপাতে পরিবর্তিত হয়। এ অবস্থায় সূর্যের চতুর্দিকে R ব্যাসার্ধের বৃত্তপথে পরিভ্রমণরত গ্রহের পর্যায়কাল সমানুপাতিক হবে
(A) $\propto R^{(n+1)/2}$ (B) $\propto R^{(n-1)/2}$ (C) $\propto R^n$ (D) $\propto R^{(n-2)/2}$
- 36 E মানের একটি সুষ্ম তড়িৎ ক্ষেত্রে একটি ইলেকট্রন, যার আধান $-e$ এবং ভর m অবস্থিত আছে। E -এর মান এমনই যে ইলেকট্রনের উপর তড়িৎ ক্ষেত্রের জন্য বল এর ওজনের সমান। তাহলে,
(A) $E = \frac{mg}{e}$ (B) $E = mge$ (C) $E = \frac{e}{mg}$ (D) $E = \frac{e^2 \cdot g}{m^2}$
- 37 বৃষ্ণতাপ প্রসারণে 10 মোল পরিমাণের একটি গ্যাসের আন্তঃশক্তির পরিবর্তন হল 100 joule। গ্যাসটি কি পরিমাণ কার্য করে?
(A) $-100J$ (B) $100J$ (C) $1000J$ (D) $-1000J$.
- 38 v_1 ও v_2 দুটি কম্পাঙ্কে ($v_1 > v_2$) একটি ধাতবপৃষ্ঠ থেকে আলোকতড়িৎ নিঃসরণ হয় এবং ইলেকট্রনের সর্বোচ্চ গতিশক্তি দ্বিতীয় ক্ষেত্রে (যখন কম্পাঙ্ক v_2) 4 গুণ হয়। ধাতুর সূচনা কম্পাঙ্ক হবে
(A) $(2v_1 - v_2)/3$ (B) $(2v_1 + v_2)/3$ (C) $(v_1 - v_2)/3$ (D) $(v_1 + v_2)/4$.
- 39 একই ব্যাসার্ধ এবং একই তড়িৎআধান বিশিষ্ট দুটি গোলাকার পরিবাহী B এবং C কিছু দূরে থেকে পরস্পরকে F বলে বিকর্ষণ করে। B এর ব্যাসার্ধের সমান ব্যাসার্ধের আর একটি নিষ্কৃতি গোলাকার পরিবাহীকে (A) B-এর সাথে স্পর্শ করিয়ে C-এর সাথে স্পর্শ করানো হল। তারপর তাকে দূরে সরিয়ে নেওয়া হল। B এবং C এর ভিতর এবার বিকর্ষণ বল হবে
(A) $\frac{F}{4}$ (B) $\frac{3F}{4}$ (C) $\frac{F}{8}$ (D) $\frac{3F}{8}$.

[Hints : A পরিবাহীকে B-রে সাথে স্পর্শ করলে, উভয়ের তড়িৎধান = $\frac{q}{2}$; তারপর A কে

C এর সাথে স্পর্শ করলে, C এর আধান হবে = $\frac{\left(\frac{q}{2} + q\right)}{2} = \frac{3q}{4}$; এবার B এবং C এর

ভিতর বল হবে = $\frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{\left(\frac{q}{2}\right)\left(\frac{3q}{4}\right)}{d^2}$; পূর্বে বল ছিল = $\frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{q^2}{d^2}$

- 40 10 Ω রোধের একটি বর্তনীতে চৌম্বক প্রবাহ ϕ (ওয়েবার এককে) সময় t -সেকেন্ডের সাথে $\phi = 4t^2 + 6t + 5$ সমীকরণ অনুযায়ী পরিবর্তিত হয়। $t = 0.5$ সেকেন্ডে আবিষ্ট প্রবাহ মাত্রার মান হবে

(A) 1.0 A (B) 0.5 A (C) 2.0 A (D) 0.4 A.

- 41 ধারকত্বের একক হল

(A) পিকো-ফ্যারাড (B) কুলম্ব (C) মাইক্রো-ভোল্ট (D) ওরস্টেড।

- 42 q পরিমাণ তড়িৎচালিত একটি কণা u গতিবেগে অপর একটি স্থির কিন্তু Q তড়িৎচালিত বস্তুর দিকে অগ্রসর হচ্ছে। r দূরত্ব গিয়ে কণাটি আগের পথে ফিরে গেল। q তড়িৎচালিত কণাকে $2u$ গতিবেগে দিলে কত সর্বাধিক দূরত্ব যেতে পারবে?

(A) r (B) $2r$ (C) $\frac{r}{2}$ (D) $\frac{r}{4}$.

[Hints : কণার গতিশক্তি = কণার স্থিতিশক্তি অথবা $\frac{1}{2}mv^2 = \frac{k \cdot qQ}{r}$;

দ্বিতীয় বার $\frac{1}{2}m(2u)^2 = \frac{k \cdot qQ}{r'}$ $\therefore \frac{1}{4} = \frac{r'}{r}$]

- 43 প্রত্যেকটি $-Q$ তড়িৎধান একটি বর্গক্ষেত্রের চারকোণায় স্থাপিত। বর্গক্ষেত্রের কেন্দ্র বিন্দুতে q তড়িৎধান রাখা হল। সমগ্র সংস্থা সাম্য অবস্থায় থাকলে, q এর মান হবে

(A) $-\frac{Q}{4}(1 + 2\sqrt{2})$; (B) $\frac{Q}{4}(1 + 2\sqrt{2})$

(C) $-\frac{Q}{2}(1 + 2\sqrt{2})$ (D) $\frac{Q}{2}(1 + 2\sqrt{2})$.

- 44 একটি পরিবর্তি প্রবাহের সমীকরণ : $I = 10 \cos(100\pi t)$ । অর্ধচক্রে প্রবাহের গড় মান হবে

(A) 6.37 A (B) 10 A (C) 5 A (D) 0.

[Hints : অর্ধচক্রে $I_{av} = 0.637 I_0$]

- 45 নিম্নলিখিত মন্তব্যগুলির মধ্যে একটি মন্তব্য বিকীর্ণ তাপের ক্ষেত্রে খাটে না। সেটি হল

(A) বিকীর্ণ তাপ শূন্য মাধ্যমে চলতে পারে,

(B) বিকীর্ণ তাপ চতুর্দিকে ছড়িয়ে পড়ে,

(C) আলোর মত বিকীর্ণ তাপ সরল রেখায় চলে,

(D) বিকীর্ণ তাপের বেগ আলোর বেগের চেয়ে কম।

- 46 D.C. অ্যামমিটার দিয়ে পরিবর্তি প্রবাহ মাপা যায় না কারণ
 (A) D.C. অ্যামমিটার দিয়ে A.C. যেতে পারে না,
 (B) A.C তার অভিমুখ পরিবর্তন করে,
 (C) সম্পূর্ণ চক্রে গড় প্রবাহমাত্রা শূন্য,
 (D) D.C. অ্যামমিটার ক্ষতিগ্রস্ত হবে।
- 47 836 W হিটার 1 লিটার জলকে 10°C থেকে 40°C এ উত্তপ্ত করতে সময় নেবে
 (A) 50 s (B) 100 s (C) 150 s (D) 200 s.
- 48 একটি ধাতুর তড়িৎ রাসায়নিক তুল্যাঙ্ক $3.3 \times 10^{-7} \text{ kg C}^{-1}$; 3A প্রবাহ 2 সেকেন্ড ব্যাপী চললে ক্যাথোডে যে পরিমাণ ধাতু মুক্ত হবে তা
 (A) $19.8 \times 10^{-7} \text{ kg}$ (B) $9.9 \times 10^{-7} \text{ kg}$ (C) $6.6 \times 10^{-7} \text{ kg}$ (D) $1.1 \times 10^{-7} \text{ kg}$.
- 49 3 cm ব্যাসার্ধের একটি তারের লুপে প্রবাহ গেলে লুপের কেন্দ্রে থেকে 4 cm দূরের বিন্দুতে $54 \mu\text{T}$ চৌম্বক ক্ষেত্র উৎপন্ন হয়। লুপের কেন্দ্রে চৌম্বক ক্ষেত্রের মান
 (A) $250 \mu\text{T}$ (b) $150 \mu\text{T}$ (C) $125 \mu\text{T}$ (D) $75 \mu\text{T}$.
- 50 ফ্রেমিং-এর বাম হস্ত নিয়ম ব্যবহার করা হয় কোন্টি নির্ণয়ের জন্য?
 (A) তড়িৎ প্রবাহের উপর তড়িৎ প্রবাহের ক্রিয়া, (B) চুম্বকের উপর তড়িৎ প্রবাহের ক্রিয়া,
 (C) তড়িৎ প্রবাহের উপর চুম্বকের ক্রিয়া, (D) চুম্বকের উপর চুম্বকের ক্রিয়া।

❁ SET 4 ❁

- 1 27°C উষ্ণতায় হিলিয়াম গ্যাসের প্রতিগ্রাম-অণুতে গতিশক্তি ($R_0 = 8.3 \times 10^7 \text{ erg/mole K}$)
 (A) 1000 J (B) 3735 J (C) 2000 J (D) 1500 J.
- 2 ভূপৃষ্ঠ থেকে 20m উচ্চ থেকে 2kg ভরের একটি বস্তুকে আবাধে পড়তে দেওয়া হল। ভূপৃষ্ঠ স্পর্শ করার পূর্ব মুহূর্তে বস্তুর গতিশক্তি ($g = 10 \text{ ms}^{-2}$)
 (A) 20 J (B) 40 J (C) 200 J (D) 400 J.
- 3 একটি তিরচৌম্বক পদার্থের দণ্ডকে একটি সুবেদী চৌম্বক ক্ষেত্রে বুলিয়ে রাখা হয়েছে। এ সম্পর্কে নিম্নলিখিত উক্তিগুলির মধ্যে কোন্টি নির্ভুল?
 (A) দণ্ড ক্ষেত্রের সমান্তরাল ও লম্ব অভিমুখের ভিতর আন্দোলিত হবে,
 (B) দণ্ডের উপর চৌম্বক ক্ষেত্রের কোনো প্রভাব নেই,
 (C) দণ্ড চৌম্বক ক্ষেত্রের অভিলম্বভাবে নিজে থেকে স্থাপিত করবে,
 (D) দণ্ড চৌম্বক ক্ষেত্রের সমান্তরালে নিজে থেকে স্থাপিত করবে।
- 4 বায়ুতে 27°C উষ্ণতায় শব্দের বেগের তুলনায় যে তাপমাত্রায় বেগ দ্বিগুণ হবে তা
 (A) 54°C (B) 327°C (C) 927°C (D) -123°C .
- 5 কোনো ধাতুর আলোকতড়িৎ কার্য-অপেক্ষক 1eV ; 300 \AA তরঙ্গদৈর্ঘ্যের আলো ঐ ধাতুর উপর পড়লে যে গতিবেগ নিয়ে ইলেকট্রন নির্গত হবে, তা
 (A) 10 ms^{-1} (B) 10^3 ms^{-1} (C) 10^4 ms^{-1} (D) 10^6 ms^{-1} .
- 6 একটি সরুশলাকা A 32 cm দীর্ঘ বন্ধনলের বায়ুস্তম্ভের সাথে সমসূর। বায়ুস্তম্ভের দৈর্ঘ্য 1cm বাড়ালে, তা আর একটি সরুশলাকা B-এর সাথে সমসূর হয়। A এবং B উভয়ে 10 সেকেন্ডে 80টি স্বরকম্প তৈরি করে। B শলাকার কম্পাঙ্ক হবে,
 (A) 284 Hz (B) 360 Hz (C) 384 Hz (D) 256 Hz.

- 7 R ব্যাসার্ধের বৃত্তপথে ভ্রাম্যমাণ একটি কৃত্রিম উপগ্রহের মুক্তিবৈগ এবং কক্ষীয় গতিবৈগ যথাক্রমে v_e এবং v_o হলে

(A) $v_e = \frac{v_o}{\sqrt{2}}$ (B) $v_e = \frac{v_o}{2}$ (C) $v_e = v_o$ (D) $v_e = \sqrt{2} \cdot v_o$

- 8 X-রশ্মির ভেদন-ক্ষমতা বৃদ্ধি পায় যদি আমরা

- (A) তরঙ্গদৈর্ঘ্য বৃদ্ধি করি এবং ভোল্টেজ হ্রাস করি,
(B) তরঙ্গদৈর্ঘ্য এবং ভোল্টেজ উভয়ই বৃদ্ধি করি,
(C) তরঙ্গ দৈর্ঘ্য ও ভোল্টেজ উভয়ই হ্রাস করি,
(D) তরঙ্গ দৈর্ঘ্য হ্রাস করি কিন্তু ভোল্টেজ বৃদ্ধি করি।

- 9 একটি বেতার প্রেরক যন্ত্র 10kW ক্ষমতায় 880 kHz কম্পাঙ্কের তরঙ্গ প্রেরণ করে। যন্ত্র থেকে প্রতি সেকেন্ডে যে-কটি ফোটন নির্গত করে, তা

(A) 1.7×10^{31} (B) 1327×10^{34} (C) 13.27×10^{34} (D) 0.075×10^{-34}

[Hints : ক্ষমতা = ফোটন সংখ্যা $\times h\nu$ অথবা $10 \times 10^3 = n \times 6.6 \times 10^{-34} \times 880 \times 10^3$]

- 10 m ভরের একটি কণা স্থির ব্যাসার্ধ r এর বৃত্তপথে এরূপভাবে আবর্তন করছে যে তার অভিকেন্দ্র ঘূর্ণণ a_r সময় t -এর সাথে $a_r = k^2 \cdot r \cdot t^2$ সমীকরণ অনুযায়ী পরিবর্তিত হচ্ছে। k -একটি ধ্রুবসংখ্যা। কণার উপর ক্রিয়ারত বল যে ক্ষমতা প্রয়োগ করছে তা

(A) $2\pi mk^2 r^2 t$ (B) $mk^2 r^2 t$ (C) $\frac{1}{3} mk^4 r^2 t^5$ (D) শূন্য।

[Hints : $a_r = k^2 \cdot r \cdot t^2$ অথবা $\frac{v^2}{r} = k^2 \cdot r \cdot t^2$ অথবা $v = k \cdot r \cdot t \therefore \frac{dv}{dt} = kr$ । ক্রিয়ারত বল F

$= m \cdot \frac{dv}{dt} = mkr$; ক্ষমতা $= F \cdot v = mkr \times krt = mk^2 r^2 t$]

- 11 একটি বস্তুকণা r ব্যাসার্ধের উল্লম্ব বৃত্তপথে ঠিক সম্পূর্ণ ঘুরে আসে। বৃত্তের শীর্ষবিন্দুতে তার গতিবৈগ

(A) $\sqrt{5gr}$ (B) $\sqrt{2gr}$
(C) \sqrt{gr} (D) কোনোটাই নয়।

- 12 বায়ুশীস যুক্ত একটি সলিনয়েডের দৈর্ঘ্য 2m এবং পাকসংখ্যা 20,000। সলিনয়েডের প্রস্থচ্ছেদ 10 cm^2 । সলিনয়েডের কেন্দ্রে আলাগা ভাবে 1000 পাকের গৌণ কুণ্ডলী জড়ানো আছে। সলিনয়েডের পারস্পরিক আবেশ গুণাঙ্ক (M) হবে,

(A) 10.7 mH (B) 11.5 mH (C) 12 mH (D) 12.5 mH.

[Hints : $M = \mu_0 n_1 n_2 \alpha / l$; $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}$]

- 13 দুটি চুম্বকদণ্ডের দৈর্ঘ্য এবং মেরুশক্তি সমান; কিন্তু একটির কেন্দ্রস্থলে ক্ষুদ্র ছিদ্র আছে। এ অবস্থায়

(A) দুটির চৌম্বক ভ্রামক সমান (B) ছিদ্রযুক্ত দণ্ডের ভ্রামক বেশি
(C) ছিদ্রযুক্ত দণ্ডের ভ্রামক কম (D) কোনোটাই নয়।

- 14 10^{-2} m^2 ক্ষেত্রফল যুক্ত একটি বর্গাকার তারকুণ্ডলীকে 10^3 Wbm^2 প্রাবল্যের চৌম্বকক্ষেত্রের অভিলম্ব ভাবে স্থাপন করা হল। কুণ্ডলীর ভিতর দিয়ে গত চৌম্বক ফ্লাক্স

(A) 10 Wb (B) 10^{-5} Wb (C) 10^5 Wb (D) 100 Wb.

- 15 গভীর কয়লাখনির তলদেশে, সমুদ্র সমতলে এবং পর্বতশৃঙ্গে একটি বস্তুর ওজন যথাক্রমে w_1 , w_2 এবং w_3 । তাহলে
 (A) $w_1 < w_2 > w_3$ (B) $w_1 = w_2 = w_3$ (C) $w_1 < w_2 < w_3$ (D) $w_1 > w_2 > w_3$.
- 16 দুটি গ্যাস A এবং B এর প্রাথমিক উষ্ণতা ও চাপ সমান। A গ্যাসকে সমোন্নয় প্রণালীতে চাপ দিয়ে আয়তন V থেকে $\frac{V}{2}$ এবং B গ্যাসকে বৃদ্ধিতাপ প্রক্রিয়ায় চাপ দিয়ে আয়তন V থেকে $\frac{V}{2}$ করা হল। এক্ষেত্রে চূড়ান্ত চাপ
 (A) A অপেক্ষা B-এর বেলায় বেশি (B) A অপেক্ষা B-এর বেলায় কম
 (C) উভয় ক্ষেত্রেই সমান (D) B-অপেক্ষা A-এর বেলায় দ্বিগুণ।
- 17 কোন অবস্থানে g এর মান সর্বনিম্ন?
 (A) ভূকেন্দ্রে (B) সুউচ্চ পর্বত শৃঙ্গে (C) গভীর কয়লাখনির নীচে (D) ভূপৃষ্ঠে।
- 18 600 পাকযুক্ত একটি বৃত্তাকার কুণ্ডলীর স্বাবেশগুণাজক 108 mH; 500 পাক যুক্ত অপর একটি সদৃশ কুণ্ডলীর স্বাবেশ গুণাজক
 (A) 74 mH (B) 75 mH (C) 76 mH (D) 77 mH.
- 19 আলো ও শব্দ তরঙ্গের ভিতর একটি গুরুত্বপূর্ণ সাদৃশ্য এই যে উভয়েই
 (A) শূন্য মাধ্যমে প্রসার লাভ করতে পারে, (B) উভয়ই তির্যক তরঙ্গ,
 (C) বায়ুতে উভয়ের গতিবেগ সমান, (D) উভয়ই ব্যাতিচার প্রদর্শন করে।
- 20 A এবং B সুরশলাকা দুটিকে একই সঙ্গে কম্পিত করলে সেকেন্ডে x সংখ্যক স্বরকম্প শোনা যায়। A সুরশলাকার কম্পাঙ্ক n ; যখন B সুরশলাকাকে মোম লাগিয়ে ভারী করা হল তখন স্বরকম্পের সংখ্যা হ্রাস পায়। B সুরশলাকার কম্পাঙ্ক
 (A) $n+x$ (B) $n-x$ (C) $n-x^2$ (D) $n-2x$.
- 21 একটি দূরবর্তী নক্ষত্র থেকে আসা $\lambda = 4861 \text{Å}$ তরঙ্গ দৈর্ঘ্যের আলোক তরঙ্গ ক্রমশ দীর্ঘতর তরঙ্গের আলো হয়ে চোখে ধরা পড়ল। তরঙ্গদৈর্ঘ্য বৃদ্ধি 12.05Å হলে
 (A) নক্ষত্রটি $3 \times 10^5 \text{ms}^{-1}$ বেগে দূরে চলে যাচ্ছে,
 (B) $7.5 \times 10^5 \text{ms}^{-1}$ বেগে দূরে চলে যাচ্ছে,
 (C) $4 \times 10^6 \text{ms}^{-1}$ বেগে এগিয়ে আসছে,
 (D) 10^5ms^{-1} বেগে দূরে চলে যাচ্ছে।
- 22 নিম্নলিখিত কাজগুলির মধ্যে কোনটিতে পরিবর্তি প্রবাহ প্রবাহ প্রযোজ্য হবে না?
 (A) তাপীয় কাজে (B) আলোক উৎপাদনে
 (C) ভোল্টেজ রূপান্তরণে (D) তড়িৎ বিশ্লেষণে।
- 23 তিনটি একই রকমের (প্রত্যেকটির ধারকত্ব C) ধারককে শ্রেণি সমবায়ে যুক্ত করে তার সাথে একই রকম আর একটি ধারক সমান্তরাল সমবায়ে যুক্ত করা হল। সমগ্র সংস্থার ধারকত্ব হবে
 (A) $3C$ (B) $\frac{4C}{3}$ (C) $\frac{3C}{4}$ (D) $2C$.
- 24 একটি অ্যামামিটারের রোধ G এবং পঠন সীমা i অ্যাম্পিয়ার। এই যন্ত্রকে ni পর্যন্ত পঠনক্ষম অ্যামিটারে পরিণত করতে যে রোধ সমান্তরাল সমবায়ে যুক্ত করতে হবে তা
 (A) nG (B) $(n-1)G$ (C) $\frac{G}{n}$ (D) $\frac{G}{(n-1)}$.

- 25। দৈর্ঘ্যের একটি দণ্ড ω সমকৌণিক বেগ নিয়ে নিজের লম্ব দ্বিখণ্ডকের সাপেক্ষে ঘুরছে। ঘূর্ণন অক্ষের সমান্তরাল ভাবে একটি সুযম চৌম্বক ক্ষেত্র B কাজ করছে। দণ্ডের মধ্যবিন্দু এবং এক প্রান্তের মধ্যে বিভব-পার্থক্য হবে
- (A) 0 (B) $\frac{1}{8}\omega B l^2$ (C) $\frac{1}{2}\omega B l^2$ (D) $B\omega l^2$
- 26। $5 \times 10^{-3} \text{ kgm}^2$ জাড্যামাকযুক্ত একটি হুইল প্রতি সেকেন্ডে 20 বার আবর্তন করছে। একে 20 সেকেন্ডে থামানো হল। হুইলের কৌণিক মন্দন
- (A) $\pi \text{ radian / s}^2$ (B) $2\pi \text{ radian / s}^2$ (C) $4\pi \text{ radian / s}^2$ (D) $8\pi \text{ radian / s}^2$
- 27। R ব্যাসার্ধের বৃত্তাকার কক্ষপথে পরিভ্রমণতর একটি উপগ্রহের পর্যায়কাল T; 4R ব্যাসার্ধের বৃত্তপথে পরিভ্রমণরত অন্য একটি উপগ্রহের পর্যায়কাল হবে
- (A) $\frac{T}{4}$ (B) $\frac{T}{8}$ (C) 4T (D) 8T
- 28। একটি বৃত্তের পরিসীমা বরাবর একটি বিমান 100 km h^{-1} সুযম গতিবেগ নিয়ে ঘুরছে। চক্রের $\frac{1}{4}$ অংশ পরে বিমানের গতিবেগ পরিবর্তন
- (A) 140 km h^{-1} প্রাথমিক অভিমুখের সঙ্গে 135° কোণে,
 (B) 200 km h^{-1} প্রাথমিক অভিমুখের সঙ্গে 90° কোণে,
 (C) 140 km h^{-1} প্রাথমিক অভিমুখের সঙ্গে 45° কোণে,
 (D) 200 km h^{-1} প্রাথমিক অভিমুখের সঙ্গে 45° কোণে।
- 29। L দৈর্ঘ্যের একটি দণ্ড একপ্রান্ত মাটিতে ঠেকিয়ে খাড়া ভাবে দাঁড়িয়ে আছে। হঠাৎ দণ্ডের উপর প্রাপ্ত খাড়া উর্ধ্ব অবস্থান থেকে উল্টে (topple) পড়ল। ভূমি স্পর্শ করার মুহূর্তে উপর প্রান্তের গতিবেগ
- (A) \sqrt{gL} (B) $\sqrt{5gL}$ (C) $\sqrt{3gL}$ (D) $3\sqrt{gL}$
- 30। একটি X-রশ্মি নলে 25000 volt বিভবপ্রভেদ কাজ করছে। ক্ষুদ্রতম তরঙ্গ দৈর্ঘ্যের যে X-রশ্মি পাওয়া যাবে তা
- (A) 0.25 \AA (B) 0.5 \AA (C) 1 \AA (D) 2.5 \AA
- 31। 10^5 ms^{-1} গতিবেগ যুক্ত প্রোটনের ডি-ব্রগলি তরঙ্গ দৈর্ঘ্য ($m = 9 \times 10^{-31} \text{ kg}$)
- (A) $7.355 \times 10^{-9} \text{ m}$ (B) 7.355 \AA (C) $7 \times 10^9 \text{ m}$ (D) 7 \AA
- 32। 1 kg ভরের একটি পাথরখণ্ডকে $\frac{10}{3} \text{ m}$ দীর্ঘ একটি সুতোয় বেঁধে উল্লম্ব তলে বৃত্তপথে ঘোরানো হচ্ছে। সুতোয় সর্বোচ্চ টান এবং সর্বনিম্ন টানের অনুপাত 4 হলে বৃত্তের সর্বোচ্চ বিন্দুতে পাথর খণ্ডের গতিবেগ হবে ($g = 10 \text{ m s}^{-2}$)
- (A) 20 m s^{-1} (B) $10\sqrt{3} \text{ m s}^{-1}$ (C) $5\sqrt{2} \text{ m s}^{-1}$ (D) 10 m s^{-1}
- 33। একটি সুযম চক্রাকার হুইলের উপর স্থির মানের টর্ক ক্রিয়া করে তার কৌণিক ভগবেগ 4 সেকেন্ডে J_0 থেকে $4J_0$ করলো। টর্কের মান
- (A) $\frac{3}{4} J_0$ (B) $4 J_0$ (C) J_0 (D) $12 J_0$

[Hints : কৌণিক ভরবেগের পরিবর্তন $3 J_0$; পরিবর্তনের হার $= \frac{3}{4} J_0$; অতএব টর্ক $= \frac{3}{4} J_0$]

- 34 পৃথিবীর ব্যাসার্ধ 1% কমে গেলে (ভর অপরিবর্তিত থেকে), ভূপৃষ্ঠে অভিকর্ষজ ত্বরণের মান (A) 1% বেড়ে যাবে (B) 2% কমে যাবে (C) 1% কমে যাবে (D) 2% বেড়ে যাবে।

[Hints : $g = \frac{GM}{R^2}$; $g' = \frac{GM}{\left(R - \frac{R}{100}\right)^2}$; $\therefore \frac{g'}{g} = \left(1 - \frac{1}{100}\right)^{-2}$ অথবা $g' = g \left(1 + \frac{2}{100}\right)$

$= g \left(1 + \frac{1}{50}\right)$ অথবা $\frac{g' - g}{g} \times 100 = \frac{1}{50} \times 100 = 2\%$

- 35 নিম্নলিখিত সমীকরণগুলির মধ্যে কোনটি আইনস্টাইনের আলোকতড়িৎ সমীকরণ ?

(A) $E = mc^2$ (B) $E = h.v$ (C) $\frac{1}{2}mv^2 = hv - \omega$ (D) কোনোটিই নয়।

- 36 ধর, হাইড্রোজেন পরমাণুর মত $-3e$ তড়িতাধান যুক্ত একটি কণা প্রোটনের চতুর্দিক পরিভ্রমণ করছে। হাইড্রোজেন পরমাণুর ইলেকট্রনের প্রথম মঞ্জুরীকৃত কক্ষপথের ব্যাসার্ধ r_0 হলে, উক্ত কণার প্রথম মঞ্জুরীকৃত কক্ষপথের ব্যাসার্ধ হবে

(A) $3r_0$ (B) r_0 (C) $\frac{1}{3}r_0$ (D) $\frac{1}{9}r_0$

- 37 হাইড্রোজেন পরমাণুর বোর মডেল সংক্রান্ত নিম্নলিখিত বিষয়গুলির কোনটি ঠিক ?

- (A) n^{th} কক্ষপথের ব্যাসার্ধ n^2 -এর সমানুপাতিক,
(B) n^{th} কক্ষপথে ইলেকট্রনের মোট শক্তি n -এর ব্যস্তানুপাতিক,
(C) যে-কোনো কক্ষপথে ইলেকট্রনের কৌণিক ভরবেগ $\frac{h}{2\pi}$ এর পূর্ণ গুণিতকের সমান,
(D) যে-কোনো কক্ষপথে ইলেকট্রনের স্থিতিশক্তির মান তার গতিশক্তির মান অপেক্ষা বেশি।

- 38 বিকিরণ সম্পর্কিত সনাতন তত্ত্বানুযায়ী যখন একটি ইলেকট্রন নিউক্লিয়াসের চতুর্দিকে বৃত্তাকার পথে পরিভ্রমণ করে, তখন ইলেকট্রন

- (A) বিকিরণ নির্গত করে কিন্তু তার বৃত্তপথের ব্যাসার্ধের পরিবর্তন হয় না,
(B) কোন বিকিরণ নির্গত করে না,
(C) বিকিরণ নির্গত করে কিন্তু তার ব্যাসার্ধ বৃদ্ধি পায়,
(D) বিকিরণ নির্গত করে কিন্তু ব্যাসার্ধ ক্রমাগত হ্রাস পায়।

- 39 M ভরের একটি বস্তু ω কৌণিক বেগ নিয়ে একটি অক্ষের চতুর্দিকে ঘুরছে। ঐ অক্ষ সাপেক্ষে বস্তুর চক্রগতির-ব্যাসার্ধ K হলে, বস্তুর কৌণিক ভরবেগ হবে

(A) $Mk^2 \omega^{\frac{1}{2}}$ (B) $Mk\omega^2$ (C) $Mk\omega$ (D) $Mk^2 \cdot \omega$

- 40 দুটি গ্রহের ব্যাসার্ধ যথাক্রমে r_1 এবং r_2 ; ঘনত্ব ρ_1 এবং ρ_2 । তাদের পৃষ্ঠে অভিকর্ষজ ত্বরণের অনুপাত

(A) $r_1 d_2 : r_2 d_1$ (B) $r_1^2 d_1 : r_2^2 d_2$ (C) $r_1 d_1 : r_2 d_2$ (D) $r_1 d_1^2 : r_2 d_2^2$

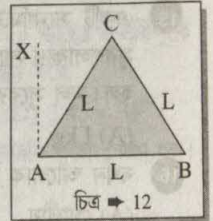
- 41 দুটি গোলকের একটি নিরেট, অপরটি ফাঁপা। প্রত্যেকের ভর সমান এবং প্রত্যেকের ব্যাস সাপেক্ষে জ্যাভ্রামক সমান। তাদের ব্যাসার্ধের অনুপাত

(A) 5:3 (B) $\sqrt{3}:\sqrt{5}$ (C) $\sqrt{5}:\sqrt{3}$ (D) 1:1.

- 42 ভোল্টমিটারের পরিবর্তে অ্যামমিটার ব্যবহার করলে, অ্যামমিটারের সঙ্গে অবশ্যই
 (A) নিম্নমানের রোধ সমান্তরাল সমবায়ে লাগাতে হবে,
 (B) উচ্চমানের রোধ সমান্তরাল সমবায়ে লাগাতে হবে,
 (C) উচ্চমানের রোধ শ্রেণি সমবায়ে লাগাতে হবে,
 (D) নিম্নমানের রোধ শ্রেণি সমবায়ে লাগাতে হবে।
- 43 হাইড্রোজেন পরমাণুকে আয়নিত করতে 13.6 eV শক্তি প্রয়োজন হয়। তাহলে $n=2$ কক্ষপথ থেকে ইলেকট্রন অপসারণ করতে কত শক্তি প্রয়োজন ?
 (A) 10.2 eV (B) 0 eV (C) 3.4 eV (D) 6.8 eV.
- 44 দুটি গাড়ি-ভর m_1 এবং m_2 ; r_1 এবং r_2 ব্যাসার্ধের বৃত্তপথে ঘুরছে। তারা একই সময়ে সম্পূর্ণ বৃত্তপথ একবার ঘুরে এলে তাদের কৌণিক গতিবেগের অনুপাত $\left(\frac{\omega_1}{\omega_2}\right)$ হবে
 (A) $\frac{m_1}{m_2}$ (B) $\frac{r_1}{r_2}$ (C) $\frac{m_1 r_1}{m_2 r_2}$ (D) 1.
- 45 R ব্যাসার্ধের একটি ওভারব্রিজ দিয়ে একটি গাড়ি যাচ্ছে। চালক স্থির গতিবেগ বজায় রেখে চলছে। গাড়ি ব্রিজের উপর উঠতে শুরু করলে, ব্রিজের উপর অভিলম্ব বল
 (A) বৃদ্ধি পায় (B) হ্রাস পায় (C) একই থাকে (D) পরিবর্তন করে।
- 46 একটি চক্রাকারে ঘুরন্ত কণার অবস্থানভেক্টর সমান অবকাশে সমান ক্ষেত্রফল আবর্তন করে। কণার
 (A) গতিবেগ স্থির (B) দ্রুতি স্থির
 (C) ত্বরণ স্থির (D) স্পর্শকীয় ত্বরণ স্থির।
- 47 একটি কণা স্থির বেগে x -অক্ষের সমান্তরালে গতিশীল আছে। মূলবিন্দু সাপেক্ষে তার কৌণিক ভরবেগ
 (A) শূন্য (B) স্থির থাকে
 (C) ক্রমশ বৃদ্ধি পায় (D) ক্রমশ হ্রাস পায়।
- 48 একটি বৃত্তাকার চাকতির ব্যাসার্ধ r এবং আর একটির ব্যাসার্ধ $4r$ । প্রথম চাকতিটি (A) t পুরু লোহার প্লেট থেকে এবং দ্বিতীয়টি (B) $\frac{t}{4}$ পুরু লোহার প্লেট থেকে কাটা হয়েছে। এদের জ্যাড্রামক I_A এবং I_B নিম্নলিখিতভাবে সম্পর্কযুক্ত
 (A) $I_A > I_B$ (B) $I_A = I_B$
 (C) $I_A < I_B$ (D) t এবং r -এর মানের উপর নির্ভর করে।
- 49 220 V A.C. বর্তনীতে শীর্ষ ভোল্টেজ হবে
 (A) 220 V (B) প্রায় 160 V (C) প্রায় 310 V (D) 440 V.
- 50 p এবং E যথাক্রমে একটি ফোটনের ভরবেগ ও শক্তি বোঝায়। তরঙ্গ দৈর্ঘ্য কমালে
 (A) p এবং E উভয়ই বৃদ্ধি পায় (B) p বৃদ্ধি পায় কিন্তু E হ্রাস পায়
 (C) p হ্রাস পায় কিন্তু E বৃদ্ধি পায় (D) p এবং E উভয়ই হ্রাস পায়।

● SET 5 ●

- 1 m ভরের একটি পাথরখণ্ডকে সুতোয় বেঁধে অনুভূমিক বৃত্তপথে ঘোরানো হচ্ছে। সুতোর দৈর্ঘ্য আশ্বে আশ্বে কমানো হচ্ছে যাতে বৃত্তের কেন্দ্রবিন্দুর সাপেক্ষে কণার কৌণিক ভরবেগ একই থাকে। এক্ষেত্রে সুতোয় টান $T = Ar^n$ যেখানে A একটি ধ্রুবসংখ্যা এবং r বৃত্তের তাৎক্ষণিক ব্যাসার্ধ। n এর মান হবে
- (A) -3 (B) -2 (C) $-\frac{1}{2}$ (D) $\frac{1}{3}$
- 2 একটি ঘূর্ণায়মান টেবিলে একটি কণা দৃঢ়ভাবে আবদ্ধ আছে। ভূমি থেকে দেখলে মনে হয় কণাটি বৃত্তাকার পথে ঘুরছে। তার দ্রুতি 20 cm s^{-1} এবং ত্বরণ 20 cm s^{-2} । কণাটি এবার অন্য এক স্থানে নেওয়া হল যাতে বৃত্তপথের ব্যাসার্ধ অর্ধেক হল। কণার দ্রুতি এবং ত্বরণের নতুন মান হবে
- (A) 10 cm s^{-1} ; 10 cm s^{-2} (B) 10 cm s^{-1} ; 80 cm s^{-2}
(C) 40 cm s^{-1} ; 10 cm s^{-2} (D) 40 cm s^{-1} ; 40 cm s^{-2}
- 3 পৃথিবীর ঘূর্ণন গতি সহসা স্তব্ধ হলে, ভূপৃষ্ঠে g -এর আপাত মান
- (A) সর্বত্র বৃদ্ধি পাবে
(B) সর্বত্র হ্রাস পাবে
(C) সর্বত্র অপরিবর্তিত থাকবে
(D) কোন কোন স্থানে বৃদ্ধি পাবে এবং কোন কোন জায়গায় একই থাকবে।
- 4 একজন খেলোয়াড় দিল্লিতে গোলাকে (shot) 16.2 m দূরে নিক্ষেপ করতে পারে। কলকাতায় এ খেলোয়াড় একই প্রাথমিক বেগ দিয়ে এবং অনুভূমের সঙ্গে একই কোণে গোলা নিক্ষেপ করলে তা যে দূরত্ব যাবে, তা
- (A) $16.2 g_1/m/g_2$ (B) $16.3 g_2/m/g_1$ (C) $8.1 g_1/m/g_2$ (D) $8.1 g_2/g_1$
[m = গোলার ভর, g_1 = দিল্লিতে অভিকর্ষজ ত্বরণ, g_2 = কলকাতায় অভিকর্ষজ ত্বরণ]
- 5 প্রত্যেকটি m ভরের এবুপ তিনটি কণাকে একটি সমবাহু ত্রিভুজের (ABC) তিন শীর্ষবিন্দুতে রাখা আছে [চিত্র 12]। ত্রিভুজের প্রত্যেক বাহুর দৈর্ঘ্য L ; ABC সমতলে স্থাপিত কিন্তু AB বাহুর লম্ব AX রেখার সাপেক্ষে সমগ্র সংস্থার জাড ভ্রামক হবে
- (A) $\frac{4}{5} mL^2$ (B) $\frac{5}{4} mL^2$ (C) $\frac{1}{2} mL^2$ (D) $2 mL^2$
- 6 একটি কণা সমবেগে সরল রেখা বরাবর গতিশীল আছে। কণার কৌণিক ভরবেগ
- (A) সর্বদা শূন্য,
(B) সরল রেখার উপর অবস্থিত একটি বিন্দু সাপেক্ষে শূন্য,
(C) সরলরেখার থেকে দূরের কোন বিন্দু সাপেক্ষে শূন্য নয়,
(D) কোনো নির্দিষ্ট বিন্দু সাপেক্ষে স্থির থাকে।
- 7 আদর্শ গ্যাসের ক্ষেত্রে রুদ্ধ তাপ প্রসারণে গ্যাস
- (A) শীতল হয়, (B) উষ্ণ হয়,
(C) তাপমাত্রার কোন পরিবর্তন হয় না,
(D) শীতল হতে পারে আবার উষ্ণও হতে পারে।



- 8 1 kg ভরের একটি হাতুড়ি 50 ms^{-1} গতিবেগে 200 g ভরের একটি লোহার গোঁজাকে আঘাত করল। হাতুড়ির শক্তির অর্ধেক গোঁজাকে উত্তপ্ত করতে ব্যয়িত হলে, গোঁজার উষ্ণতা বৃদ্ধি হবে (লোহার আপেক্ষিক তাপ = 0.105)
 (A) 5.1°C (B) 6.1°C (C) 7.1°C (D) 8.1°C
- 9 গ্যাস সংক্রান্ত চাপের সূত্র কে প্রতিষ্ঠা করেন?
 (A) বয়েল (B) রেনো (C) সেলসিয়াস (D) চার্লস
- 10 m ভরের একটি বস্তুকে ভূপৃষ্ঠ থেকে অসীমে ছুড়ে দিতে যে গতিশক্তির প্রয়োজন তা $[R =$ পৃথিবীর ব্যাসার্ধ]
 (A) $\frac{1}{4} mgR$ (B) $\frac{1}{2} mgR$ (C) mgR (D) $2mgR$
- 11 $y = a \sin(\omega t - kx)$ এবং $y = a \cos(\omega t - kx)$ দুটি তরঙ্গ উপরিপাতিত হল। লব্ধ তরঙ্গের বিস্তার হবে
 (A) a (B) $\sqrt{2} a$ (C) $2a$ (D) 0
- 12 স্থানু তরঙ্গে
 (A) মাধ্যমের সকল কণা একই দশায় কম্পিত হয়,
 (B) সকল নিস্পন্দ বিন্দুর দশা এক,
 (C) একটি অন্তর একটি নিস্পন্দ বিন্দুর দশা এক,
 (D) পর পর দুটি দুটি সুস্পন্দ বিন্দুর ভিতরকার সকল কণা সমদশায় কম্পিত হয়।
- 13 একটি চলতরঙ্গের কম্পাঙ্ক 500 এবং গতিবেগ 350 ms^{-1} ; তরঙ্গের উপর দুটি বিন্দুর দশাপার্থক্য 60° হলে, বিন্দুদ্বয়ের ভিতর দূরত্ব হবে
 (A) 0.1166 m (B) 1.116 m (C) 11 m (D) 11.6 m.
- 14 480 Hz কম্পাঙ্কের একটি সুরশলাকাকে সনোমিটার তারের কম্পন সৃষ্টি করার জন্য ব্যবহার করা হচ্ছে। তারের স্বাভাবিক কম্পাঙ্ক 410 Hz. তারটি কি কম্পাঙ্কে কম্পিত হবে?
 (A) 410 Hz (B) 480 Hz (C) 820 Hz (D) 960 Hz.
- 15 একটি সনোমিটার তারকে 4 kg ভার দিয়ে টান করা আছে। 416 Hz কম্পাঙ্কের একটি সুরশলাকার সাথে তারের মূলসুর মিলে যায়। সনোমিটার ব্রীজ দুটির ভিতরকার দৈর্ঘ্য দ্বিগুণ করা হল। মূল সুরের কম্পাঙ্ক অপরিবর্তিত রাখতে হলে, তারের টান কত বদলাতে হবে?
 (A) 1 kg (B) 2 kg (C) 8 kg (D) 16 kg.
- 16 যখন আলোক উৎস থেকে তরঙ্গাঙ্ক বহু দূরে চলে যায় তখন তার আকৃতি হয়
 (A) গোলায় (B) চোঙাকৃতি (C) সমতল (D) কোনটাই না।
- 17 এক বর্ণের আলো বায়ু থেকে কাচে প্রতিসৃত হল। কাচের প্রতিসরাঙ্ক μ । আপতিত ও প্রতিসৃত আলোর তরঙ্গদৈর্ঘ্যের অনুপাত
 (A) 1 : 1 (B) 1 : μ (C) μ : 1 (D) μ^2 : 1.
- 18 ডপলার প্রভাবের দরুন কম্পাঙ্কের পরিবর্তন
 (A) শব্দ উৎসের গতিবেগের উপর নির্ভর করে না,
 (B) পর্যবেক্ষকের গতিবেগের উপর নির্ভর করে না,
 (C) উৎসের কম্পাঙ্কের উপর নির্ভর করে না,
 (D) পর্যবেক্ষক ও উৎসের ভিতরকার দূরত্বের উপর নির্ভর করে না।

- 19 শব্দ উৎস থেকে 5.0 m দূরে শব্দের প্রাবল্য $1 \times 10^{-8} \text{ Wm}^{-2}$ । উৎস থেকে 25 m দূরে প্রাবল্য হবে
 (A) $4.0 \times 10^{-10} \text{ Wm}^{-2}$ (B) $5.0 \times 10^{-10} \text{ Wm}^{-2}$
 (C) $8.0 \times 10^{-10} \text{ Wm}^{-2}$ (D) $16 \times 10^{-10} \text{ Wm}^{-2}$
- 20 খোলা অর্গান নলে পর পর সমসূর কম্পাঙ্ক (resonance frequencies) 1944 Hz এবং 2592 Hz. বায়ুতে শব্দের বেগ 324 ms^{-1} হলে নলের দৈর্ঘ্য হবে
 (A) 20 cm (B) 22 cm (C) 25 cm (D) 30 cm.
- 21 দুটি ট্রেন পরস্পরের দিকে 90 Km^{-1} বেগে এগিয়ে আসছে। একটি টেন 500 Hz কম্পাঙ্কের শব্দ উৎপন্ন করলে অপর ট্রেনে যে আপাত কম্পাঙ্কের শব্দ শোনা যাবে তা (বায়ুতে শব্দের বেগ $= 350 \text{ ms}^{-1}$)
 (A) 580 Hz (B) 500 Hz (C) 560 Hz (D) 577 Hz.
- 22 তিনটি বিন্দু তড়িৎ আধান $4q$, Q এবং q একটি সরলরেখা (দৈর্ঘ্য $= l$) বরাবর, 0 , $\frac{l}{2}$ এবং l দূরত্বে বসানো আছে। q আধানের উপর নীট বল শূন্য। Q -এর মান হবে
 (A) $-2q$ (B) $-\frac{1}{2}q$ (C) $4q$ (D) $-q$.
- 23 একটি বন্ধ তলের অভ্যন্তরে q তড়িৎ আধান আছে। গ্যাসের উপপাদ্য অনুযায়ী বন্ধতলের উপর মোট অভিলম্ব আবেশ
 (A) $\frac{q}{\epsilon_0}$ (B) $\epsilon_0 q$ (C) $\frac{\epsilon_0}{q}$ (D) $\frac{4\pi \epsilon_0}{q}$.
- 24 একটি সুখম তড়িৎক্ষেত্রে একটি প্রোটন ও একটি ইলেকট্রন আছে।
 (A) তাদের উপর ক্রিয়ারত তড়িৎবল সমান,
 (B) ক্রিয়ারত তড়িৎবলের মান সমান,
 (C) এদের ত্বরণের মান ও অভিমুখ সমান,
 (D) এদের ত্বরণের মান সমান।
- 25 $4.00 \times 10^5 \text{ NC}^{-1}$ মানের একটি উল্লম্ব তড়িৎক্ষেত্র একটি $1.00 \times 10^{-4} \text{ kg}$ ভরের জলবিন্দুকে খাড়া নীচ দিকে পড়তে বাধা দিচ্ছে। বিন্দুটি ঝুলে থাকলে তার তড়িৎ আধান হবে
 (A) $2.00 \times 10^{-9} \text{ C}$ (B) $2.45 \times 10^{-9} \text{ C}$ (C) $3.00 \times 10^{-9} \text{ C}$ (D) $3.45 \times 10^{-9} \text{ C}$
- 26 ব্যাটারির সাহায্যে একটি সমান্তরাল প্লেট ধারক-কে আহিত করার পর ব্যাটারি খুলে ফেলা হল। অন্তরক হাতল দিয়ে প্লেট দুটিকে দূরে সরিয়ে নিলে,
 (A) ধারকের আধান বৃদ্ধি পাবে
 (B) ধারকের ধারকত্ব বৃদ্ধি পাবে
 (C) ধারকের দুই প্লেটের বিভব-পার্থক্য বৃদ্ধি পাবে
 (D) ধারকের শক্তি বৃদ্ধি পাবে।
- 27 C_1 এবং C_2 ধারকত্বের দুটি ধাতব গোলক সমান তড়িৎ আধান বহন করে। তাদের পরস্পরের সংস্পর্শে এনে, পরে পৃথক করে রাখা হল। গোলক দুটিতে বর্তমান তড়িৎ আধান Q_1 এবং Q_2 হলে
 (A) $\frac{Q_1}{Q_2} > \frac{C_1}{C_2}$ (B) $\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{C_1}{C_2}$ (C) $\frac{Q_1}{Q_2} < \frac{C_1}{C_2}$ (D) $\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{C_2}{C_1}$

- 28 একটি সমান্তরাল পাত ধারকের প্রত্যেক পাতের ক্ষেত্রফল 25 cm^2 । পাত দুটির ব্যবধান 1.00 mm । ধারককে 6.0 V ব্যাটারির সঙ্গে যুক্ত করলে ব্যাটারি দিয়ে যে তড়িৎ যাবে তা
(A) $1.30 \times 10^{-10} \text{ C}$ (B) $1.33 \times 10^{-10} \text{ C}$ (C) $1.4 \times 10^{-10} \text{ C}$ (D) $1.43 \times 10^{-10} \text{ C}$
- 29 দুটি সরু ও দীর্ঘ তার সমান্তরালভাবে b দূরত্বে থেকে প্রত্যেকে 1 A প্রবাহ বহন করছে। একটি তারের দরুন অপর তারের একক দৈর্ঘ্যে প্রযুক্ত বল
(A) $\frac{\mu_0 i^2}{b^2}$ (B) $\frac{\mu_0 i^2}{2\pi b}$ (C) $\frac{\mu_0 i}{2\pi b}$ (D) $\frac{\mu_0 i}{2\pi b^2}$
- 30 B চৌম্বক ক্ষেত্রে q তড়িতধানের আবর্তবেগের কম্পাঙ্ক
(A) $\frac{2\pi m}{B \cdot q}$ (B) $\frac{B \cdot q}{2\pi m}$ (C) $\frac{B \cdot q}{m}$ (D) $\frac{m \cdot B \cdot q}{\pi}$
- 31 বরফে নিমজ্জিত একটি তার কুণ্ডলী দিয়ে 10 A প্রবাহ 210 V বিভব-প্রভেদে পাঠানো হল। প্রতি ঘন্টায় যে পরিমাণ বরফ গলবে তা ($L = 80 \text{ cal g}^{-1}$)
(A) 0.84 kg (B) 8.4 kg (C) 84 kg (D) 2.25 kg
- 32 $25 \text{ W} - 220 \text{ V}$ এবং $100 \text{ W} - 220 \text{ V}$ বাতি দুটিকে শ্রেণি সমবায়ে যুক্ত করে 220 V মেইনসের সঙ্গে যুক্ত করলে প্রথম বাতিতে ব্যয়িত ক্ষমতা হবে
(A) 4 W (B) 25 W (C) 20 W (D) 16 W
- 33 কোন সংস্থায় উৎপন্ন তাপ সংস্থা দিয়ে প্রবাহিত তড়িৎপ্রবাহের সমানুপাতিক। এই তাপ
(A) টেমসন প্রভাবের জন্য হতে পারে না,
(B) পেলটিয়ার প্রভাবের জন্য হতে পারে না,
(C) জুল প্রভাবের জন্য হতে পারে না,
(D) উক্ত তিনটির যে-কোনো একটির প্রভাবে হতে পারে।
- 34 কোনো রাসায়নিক পদার্থের তড়িৎ-রাসায়নিক তুল্যাঙ্ক নির্ভর করে
(A) পদার্থের প্রকৃতির উপর,
(B) পদার্থ সমন্বিত তড়িৎ-বিশ্লেষকের ভিতর দিয়ে প্রবাহিত তড়িৎপ্রবাহের উপর,
(C) তড়িৎ-বিশ্লেষকের ভিতর দিয়ে প্রবাহিত তড়িৎ-আধানের উপর,
(D) তড়িৎ-বিশ্লেষকে উপস্থিত পদার্থের পরিমাণের উপর।
- 35 একটি তড়িৎবিশ্লেষক কোষে 5.0 A প্রবাহ প্রমাণ তাপমাত্রা ও চাপে 1.0 litre হাইড্রোজেন মুক্ত করল। প্রয়োজনীয় সময়
(A) 30 মিনিট (B) 29 মিনিট (C) 28 মিনিট (D) 32 মিনিট।
- 36 প্রোটন ও ইলেকট্রনের একটি রশ্মিগুচ্ছ একই বেগে একটি অভিলম্ব চৌম্বকক্ষেত্রে ভিতর দিয়ে চলে গেল। প্রোটন ও ইলেকট্রনগুলি
(A) বিচ্যুত না হয়ে চলে যাবে,
(B) একই কোণে বিচ্যুত হবে এবং পরস্পর থেকে বিচ্ছিন্ন হবে না,
(C) বিভিন্ন কোণে বিচ্যুত হবে এবং পরস্পর থেকে বিচ্ছিন্ন হবে,
(D) একই কোণে বিচ্যুত হবে কিন্তু পরস্পর থেকে বিচ্ছিন্ন হবে।
- 37 তড়িৎবাহী পরিবাহীকে চৌম্বকক্ষেত্রে রাখলে, পরিবাহীর গতির অভিমুখ পাওয়া যায়
(A) ফ্লেমিং-এর বামহস্ত নিয়ম থেকে (B) ফ্লেমিং-এর ডান হাত নিয়ম থেকে
(C) ল্যাপলাসের নিয়ম থেকে (D) অ্যাম্পিয়ারের সত্তরণ নিয়ম থেকে।

- 38 1 cm^2 ক্ষেত্রফলযুক্ত একটি বৃত্তাকার তার কুণ্ডলীতে 10 A প্রবাহ যাচ্ছে। কুণ্ডলীর তলের অভিলম্ব ভাবে 0.1 T চৌম্বক ক্ষেত্র ক্রিয়া করছে। চৌম্বক ক্ষেত্রের দ্বারা কুণ্ডলীর উপর ক্রিয়ারত টর্ক
- (A) শূন্য (B) 10^{-4} N-m (C) 10^{-2} N-m (D) 1 N-m
- 39 স্থির তড়িৎ ক্ষেত্র ও চৌম্বক ক্ষেত্রের ভিতর দিয়ে একটি তড়িতাহিত কণা বৃত্তপথে ঘুরে গেল। এক্ষেত্রে নিম্নলিখিতগুলির মধ্যে কোন্টি সম্ভব?
- (A) $E=0, B=0$ (B) $E=0, B \neq 0$ (C) $E \neq 0, B=0$ (D) $E \neq 0, B \neq 0$
- 40 তড়িৎ চুম্বকীয় আবেশ ঘটনা আবিষ্কার করেন
- (A) লেঞ্জ (B) ফ্যারাডে (C) হার্বস (D) টমসন।
- 41 নিম্নলিখিত সংরক্ষণ সূত্রের কোন্টি থেকে লেঞ্জের সূত্র পাওয়া যায়?
- (A) ভর সংরক্ষণ সূত্র (B) আধান সংরক্ষণ সূত্র
(C) ভরবেগ সংরক্ষণ সূত্র (D) শক্তি সংরক্ষণ সূত্র।
- 42 20 cm দীর্ঘ ডানায়ুক্ত একটি বিমান ভূচৌম্বক ক্ষেত্রের ভিতর দিয়ে ন্যূনতম কত বেগে উড়ে গেলে ডানার দুই প্রান্তে 10 volt তড়িচ্চালক বল আবিষ্ট হবে? ভূচৌম্বক ক্ষেত্র $= 5 \times 10^{-5} \text{ Wb m}^{-2}$
- (A) 10 ms^{-1} (B) 10^3 ms^{-1} (C) 10^4 ms^{-1} (D) 10^5 ms^{-1}
- 43 মানুষের চোখে দর্শনানুভূতি সৃষ্টি করে
- (A) X-রশ্মি (B) গ্যামা রশ্মি (C) U-V রশ্মি (D) দৃশ্যমান রশ্মি।
- 44 μ -পদার্থের সর্বাধিক চৌম্বক ভেদ্যতার মান 0.126 T-mA^{-1} । ঐ পদার্থের সর্বাধিক আপেক্ষিক চৌম্বক ভেদ্যতা হবে ($\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ T-mA}^{-1}$)
- (A) 10^5 (B) 10^6 (C) 10^4 (D) 10.
- [Hints : আপেক্ষিক ভেদ্যতা $\mu_r = \frac{\mu}{\mu_0} = \frac{0.126}{4\pi \times 10^{-7}}$]
- 45 অয়শ্চৌম্বক পদার্থকে অতিরিক্ত উত্তপ্ত করলে, তা পরিণত হয়
- (A) তিরশ্চৌম্বক পদার্থ (B) অচৌম্বক পদার্থ
(C) পরাচৌম্বক পদার্থ (D) নরম লোহায়।
- 46 P-N সংযোগের P-অঞ্চলকে নেগেটিভ বিভব ও N-অঞ্চলকে পজিটিভ বিভব দিলে,
- (A) নিঃশেষিত স্তরের বেধ হ্রাস পায় কিন্তু বিভব-প্রতিবন্ধকের উচ্চতা বৃদ্ধি পায়
(B) নিঃশেষিত স্তরের বেধ বৃদ্ধি পায় কিন্তু বিভব-প্রতিবন্ধকের উচ্চতা হ্রাস পায়,
(C) নিঃশেষিত স্তরের বেধ এবং বিভব-প্রতিবন্ধকের উচ্চতা উভয়ই বৃদ্ধি পায়,
(D) উভয়ই হ্রাস পায়।
- 47 $(125)_{10}$ দশমিক সংখ্যাকে দ্বিক-সংখ্যায় প্রকাশ করলে মান হবে
- (A) $(11111101)_2$ (B) $(1111011)_2$ (C) $(1110111)_2$ (D) কোনোটিই না।
- 48 একটি ধাতুর আলোকতড়িৎ কার্য-অপেক্ষক $h\nu_0$ । ν কম্পাঙ্কের আলোকতরঙ্গ ঐ ধাতুপৃষ্ঠে আপতিত হলে, আলোক তড়িৎ ক্রিয়া দেখা যাবে যখন
- (A) $\nu \geq \nu_0$ (B) $\nu > 2\nu_0$ (C) $\nu < \nu_0$ (D) $\nu < \frac{\nu_0}{2}$
- 49 একটি ধাতব উপাদানের আলোকতড়িৎ কার্য অপেক্ষক 4 eV । ঐ উপাদানের পক্ষে প্রারম্ভ তরঙ্গ দৈর্ঘ্য হবে
- (A) $310 \times 10^{-9} \text{ m}$ (B) $309 \times 10^{-9} \text{ m}$ (C) $311 \times 10^{-9} \text{ m}$ (D) $312 \times 10^{-9} \text{ m}$

- 50 V ভোল্ট দ্বারা ত্বরান্বিত একটি প্রোটনের দ্য ব্রয় তরঙ্গ দৈর্ঘ্য λ । একটি আলোক কণার তরঙ্গ দৈর্ঘ্যকে λ হতে গেলে তাকে যে বিভব-পার্থক্য দ্বারা ত্বরান্বিত করতে হয় তা
- (A) V ভোল্ট (B) 4V ভোল্ট (C) 2V ভোল্ট (D) $\frac{1}{8}$ V ভোল্ট।

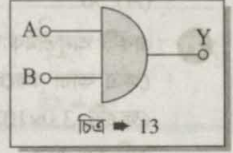
❁ SET 6 ❁

- 1 হাইড্রোজেন পরমাণুর ইলেকট্রন তৃতীয় কক্ষপথ থেকে দ্বিতীয় কক্ষপথে লাফ দিলে, বিকীর্ণ আলোর তরঙ্গ দৈর্ঘ্য হবে,
- (A) $\frac{5}{36} R$ (B) $\frac{1}{9} R$
(C) $\frac{36}{5} R$ (D) $\frac{9}{R}$. [R = রীডবার্গ ধ্রুবসংখ্যা]
- 2 একটি তার কুণ্ডলীতে 3×10^{-2} সেকেন্ড সময়ে তড়িৎপ্রবাহ 8A থেকে 2A-এ হ্রাস পোলে, কুণ্ডলীতে 2V তড়িচ্চালক বল আবিষ্ট হয়। কুণ্ডলীর স্বাবেশ গুণাঙ্ক
- (A) 1 mH (B) 5 mH (C) 40 mH (D) 10 mH.
- 3 e তড়িৎপ্রবাহ যুক্ত একটি ইলেকট্রন r ব্যাসার্ধের বৃত্তপথে v গতিবেগ নিয়ে ঘুরছে। এর তুল্য তড়িৎ প্রবাহ হবে
- (A) $\frac{ev}{2\pi r}$ (B) $\frac{2\pi r}{e.v}$ (C) $\frac{e.v}{r}$ (D) কোনোটিই না।
- 4 ফোটন সম্বন্ধে নিম্নলিখিত তথ্যগুলির মধ্যে কোনটি ঠিক নয় ?
- (A) ফোটনের ভরবেগ = $\frac{hv}{c}$ (B) ফোটনের শক্তি = hv
(C) ফোটন কোন চাপ প্রয়োগ করে না (D) ফোটনের স্থির ভর শূন্য।
- 5 সমদৈর্ঘ্যের দুটি হিটার তারকে প্রথমে শ্রেণি সমবায়ে, পরে সমান্তরাল সমবায়ে যুক্ত করা হল। উদ্ভূত তাপের অনুপাত,
- (A) 1 : 4 (B) 4 : 1 (C) 2 : 1 (D) 1 : 2.
- 6 m ভর এবং I জাড্য ভ্রামক সম্পন্ন কোনো গোলক স্থিরাবস্থা থেকে মসৃণ নততল বরাবর গড়িয়ে পড়লে, তার মোট গতিশক্তি
- (A) $\frac{1}{2} I\omega^2$ (B) $\frac{1}{2} m v^2$
(C) $I\omega + m v$ (D) $\frac{1}{2} I\omega^2 + \frac{1}{2} m v^2$.
- 7 তড়িৎক্ষেত্রের কোন বিন্দুতে ক্ষেত্রপ্রাবল্য (E) এবং বিভবের (V) এর সম্পর্ক হবে
- (A) $E = \frac{dV}{dx}$ (B) $E = -\frac{dV}{dx}$ (C) $V = -\frac{dE}{dx}$ (D) $E = V \times x$.
- 8 অ্যান্টিমনি-বিসমাথ তাপযুগ্মের ক্ষেত্রে তড়িৎপ্রবাহের অভিমুখ
- (A) উষ্ণ সংযোগে অ্যান্টিমনি থেকে বিসমাথের দিকে,
(B) শীতল সংযোগে অ্যান্টিমনি থেকে বিসমাথের দিকে,
(C) শীতল সংযোগে বিসমাথ থেকে অ্যান্টিমনির দিকে,
(D) কোনো প্রবাহই হয় না।

- 9 দ্বিতীয় বোর কক্ষপথে ইলেকট্রনের আয়নয়ন শক্তির মান
 (A) 54.4 eV (B) 13.6 eV
 (C) 1.5 eV (D) 3.4 eV.

- 10 13 নং চিত্রে প্রদর্শিত লজিক গেটটির প্রকৃতি হল

- (A) OR (B) AND
 (C) NOT (D) NAND.



- 11 জেনার ডায়োড ব্যবহৃত হয়

- (A) ভোল্টেজ সুস্থিতকরণে (B) প্রবাহ একমুখীকরণে
 (C) বিবর্ধনে (D) বাহক তরঙ্গ উৎপাদনে।

- 12 একটি গতিশীল শব্দউৎস একজন শ্রোতার দিকে কি বেগে অগ্রসর হলে, শ্রোতা যে আপাত কম্পাঙ্কের শব্দ শুনতে পাবে তা প্রকৃত কম্পাঙ্কের দ্বিগুণ হবে ?

- (A) 332 ms^{-1} (B) 83 ms^{-1} (C) 249 ms^{-1} (D) 166 ms^{-1} .

- 13 27 টি একই রকম পারদবিন্দুকে একই সঙ্গে একই বিভব 10 volt-এ তড়িতাহিত করা হল। সমস্ত বিন্দুগুলি মিশে গিয়ে একটি বড় বিন্দু গঠন করলে, তার বিভব কত হবে ? বিন্দুগুলি গোলায় মনে করো।

- (A) 45 V (B) 90 V (C) 120 V (D) 180 V.

- 14 5 A ফিউজ লাইনে 220 volt এ নিরাপদে কটি 100 watt বাল্ব ব্যবহার করা যাবে ?

- (A) 11 (B) 22 (C) 10 (D) 5.

- 15 একটি ধাতব প্লেটকে 40 keV ইলেকট্রন আঘাত করলে যে সকল X-রশ্মি পাওয়া যায় তাদের ভিতর সর্বাপেক্ষা শক্তিশালী রশ্মির তরঙ্গদৈর্ঘ্য

- (A) 10 \AA (B) 300 \AA (C) 4 \AA (D) 0.31 \AA .

- 16 কৌণিক ভরবেগের মাত্রা হল

- (A) $[ML^2T^{-1}]$ (B) $[MLT^{-1}]$ (C) $[M^2LT^{-2}]$ (D) $[ML^3T^{-2}]$.

- 17 তরল বিন্দুর পৃষ্ঠদেশে সর্বদা গোলাকার। কারণ

- (A) তরল বিন্দুর উপর ক্রিয়াশীল বায়ুমণ্ডলীয় চাপ,
 (B) গোলাকার তরল বিন্দুর আয়তন সর্বনিম্ন,
 (C) পৃষ্ঠটানের দরুন তরল পৃষ্ঠ সর্বনিম্ন ক্ষেত্রফল লাভ করার প্রবণতা পায়,
 (D) অভিকর্ষ বল।

- 18 একটি অক্সিজেন অণু একটি হাইড্রোজেন অণু অপেক্ষা 16 গুণ ভারী। একই উষ্ণতায় তাদের r.m.s. বেগের অনুপাত

- (A) 2 : 1 (B) 1 : 2 (C) 4 : 1 (D) 1 : 4.

- 19 r ব্যাসার্ধের একটি পরিবাহী গোলককে q তড়িতে আহিত করা হল। গোলকের অভ্যন্তরে কোন বিন্দুতে তড়িৎক্ষেত্র প্রাবল্য ও বিভব

- (A) 0, 0 (B) $\frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{q}{r^2}$; 0

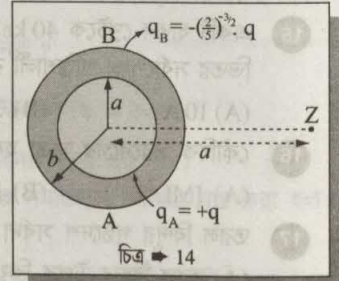
- (C) 0, $\frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{q}{r}$ (D) $\frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{q}{r^2}$; $\frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{q}{r}$.

- 20 তড়িৎ বলরেখা কোন সমবিভব তলকে যে কোণে ছেদ করে তার মান
 (A) 30° (B) 60° (C) 90° (D) 45° .
- 21 একটি অনুভূমিক তলের উপর অভিলম্বভাবে উপর থেকে নীচের দিকে $0.08T$ মানের এক চৌম্বক ক্ষেত্র কাজ করছে। ঐ তলের উপর 0.01 m^2 ক্ষেত্রের তারের একটি লুপ পড়ে আছে। চৌম্বক ক্ষেত্রটি $3.0 \times 10^{-4} \text{ Ts}^{-1}$ স্থির হারে কমছে। এ অবস্থায় আবিষ্ট তড়িচ্চালক বলের মান ও অভিমুখ হবে
 (A) $3\mu\text{V}$; ঘড়ির কাঁটার বিপরীত দিকে, (B) $3\mu\text{V}$ ঘড়ির কাঁটার অভিমুখে,
 (C) $8\mu\text{V}$ ঘড়ির কাঁটার অভিমুখে, (D) $8\mu\text{V}$ ঘড়ির কাঁটার বিপরীত দিকে।
- 22 একট সুষম চৌম্বকক্ষেত্রে ইলেকট্রন $(4\hat{i} + 3\hat{j}) \times 10^{-13} \text{ N}$ বল অনুভব করে যখন তার বেগ $2.5\hat{k} \times 10^7 \text{ ms}^{-1}$ । যখন তার বেগ $(1.5\hat{i} - 2\hat{j}) \times 10^7 \text{ ms}^{-1}$ তখন ইলেকট্রনের উপর চৌম্বক বল শূন্য। চৌম্বক ক্ষেত্র \vec{B} -এর মান
 (A) $0.1\hat{i} - 0.075\hat{j}$ (B) $0.1\hat{i} + 0.075\hat{j}$
 (C) $0.075\hat{i} - 0.1\hat{j} + \hat{k}$ (D) $(0.075\hat{i} - 0.1\hat{j})$.
- 23 দুটি এককেন্দ্রিক রিংয়ের ব্যাসার্ধ যথাক্রমে a এবং b । তাদের তড়িতাধান যথাক্রমে q এবং $-\left(\frac{2}{5}\right)^{-3/2} \cdot q$ [চিত্র 14]। $z = a$ দূরত্বে একটি তড়িৎগ্রস্ত কণা স্থিরাবস্থায় থাকে যদি b/a

অনুপাত হয়

- (A) 1 (B) 2
 (C) $\frac{1}{2}$ (D) $\frac{1}{\sqrt{2}}$.

[Hints : ধর z বিন্দুতে রাখা তড়িতাধান $= Q$; a ব্যাসার্ধের তড়িতাধানের জন্য Q বিন্দুর উপর বল



$$= \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{q \cdot Q}{(a^2 + a^2)^{3/2}} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{q \cdot Q}{2^{3/2} \cdot a^3};$$

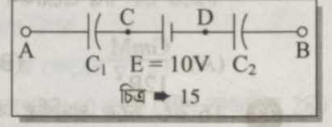
$$\text{অনুরূপভাবে } b \text{ ব্যাসার্ধের তড়িতাধানের জন্য বল} = -\frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{q \cdot Q}{(a^2 + b^2)^{3/2}}$$

$$= -\frac{1}{4\pi\epsilon_0} \left(\frac{2}{3}\right)^{-3/2} \frac{q \cdot Q}{2^{3/2} \cdot (a^2 + b^2)^{3/2}}$$

যেহেতু Q তড়িতাধান স্থির তাই

$$\frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{q \cdot Q}{2^{3/2} \cdot a^3} - \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{\left(\frac{2}{3}\right)^{-3/2} \cdot q \cdot Q}{2^{3/2} \cdot (a^2 + b^2)^{3/2}} = 0 \text{ অথবা } b/a = 2]$$

- 24 15 নং চিত্রে প্রদর্শিত বর্তনীতে 10V তড়িচ্চালক বলের (E) ব্যাটারি এবং দুটি ধারক C_1 এবং C_2 যুক্ত আছে। $C_1 = 1.0 \mu\text{F}$ এবং $C_2 = 2.0 \mu\text{F}$ । ($V_A - V_B$) হল 5 volt। এ অবস্থায়



- (A) C_1 ধারকের ভোল্টেজ = 5V,
 (B) C_2 ধারকের ভোল্টেজ = 10V,
 (C) C_1 ধারকে সঞ্চিত শক্তি C_2 ধারকে সঞ্চিত শক্তির দ্বিগুণ,
 (D) C_1 ধারকে সঞ্চিত শক্তি C_2 ধারকে সঞ্চিত শক্তির সমান।
- 25 একটি হালকা গ্রহ একটি বৃহৎ ভরের নক্ষত্রের চতুর্দিকে R ব্যাসার্ধের বৃত্তপথে T পর্যায়কাল সহ পরিভ্রমণ করছে। নক্ষত্র ও গ্রহের মধ্যে মহাকর্ষীয় বল $R^{+15/7}$ এর সমানুপাতিক হলে, T হবে
- (A) $R^{22/14}$ (B) $R^{3/2}$
 (C) $R^{7/2}$ (D) $R^{24/15}$ এর সমানুপাতিক।

[Hints : $\frac{mv^2}{R} = \frac{G.m.M}{R^{15/7}} \therefore v = \sqrt{\frac{GM}{R^{8/7}}}$;

এখন $T = \frac{2\pi R}{v} = \frac{2\pi R}{\sqrt{GM}} \cdot R^{8/14} = \frac{2\pi}{\sqrt{GM}} \cdot R^{22/14}$]

- 26 কোন তাপযুগ্মের ক্ষেত্রে তাপ তড়িচ্চালক বল $e = 2164t - 6.21t^2 \mu\text{V}$ । তাপযুগ্মের শীতল সংযোগের তাপমাত্রা 0°C । ঐ তাপযুগ্মের নিরপেক্ষ ও উৎক্রম উন্মত্তা যথাক্রমে
- (A) 174.5°C ; 349°C (B) 349°C ; 174.5°C
 (C) 349°C ; 698°C (D) 698°C ; 349°C .
- 27 ধাতবপৃষ্ঠ থেকে নির্গত ফটো-ইলেকট্রনের সংখ্যা নির্ভর করে
- (A) আপতিত আলোর তরঙ্গ দৈর্ঘ্যের উপর,
 (B) আপতিত আলোর তীব্রতার উপর,
 (C) আপতিত আলোর কম্পাঙ্কের উপর,
 (D) ধাতবপৃষ্ঠের প্রারম্ভ কম্পাঙ্কের উপর।
- 28 P-N সংযোগ ডায়োড বিপরীত বায়াস বৃদ্ধি করতে থাকলে, প্রবাহমাত্রা এক সময়
- (A) ধীরে ধীরে বৃদ্ধি পায় (B) ধুবক থাকে
 (C) হঠাৎ বৃদ্ধি পায় (D) শূন্য হয়।
- 29 চন্দ্রে কোনো বায়ুস্তর নেই। এর কারণ
- (A) চন্দ্র পৃথিবীর খুব নিকটে অবস্থিত (B) চন্দ্র পৃথিবীর চতুর্দিকে পরিভ্রমণ করে
 (C) চন্দ্রপৃষ্ঠে মুক্তিবৈগের মান খুব কম (D) চন্দ্রপৃষ্ঠে মুক্তিবৈগের মান খুব বেশি।
- 30 ফ্যারাডে দুটি গুরুত্বপূর্ণ সূত্র উপস্থাপিত করেন। সূত্র দুটি
- (A) তড়িৎবিশ্লেষণ সূত্র ; সমান্তরাল তড়িৎ প্রবাহের আকর্ষণের বিকর্ষণ সম্পর্কিত সূত্র,
 (B) তড়িৎবিশ্লেষণ সূত্র ; তড়িৎ-চুম্বকীয় আবেশ সংক্রান্ত সূত্র,
 (C) তড়িৎ প্রবাহের দরুন তাপ উৎপত্তির সূত্র ; তড়িৎ-চুম্বকীয় আবেশ সংক্রান্ত সূত্র,
 (D) তড়িৎ প্রবাহের দরুন তাপ উৎপত্তির সূত্র ; পরিবর্তী প্রবাহের সূত্র।
- 31 R ব্যাসার্ধের একটি বৃত্তাকার তারে (A) I প্রবাহমাত্রা যাচ্ছে। 2R ব্যাসার্ধের অপর একটি বৃত্তাকার তারে (B) 2I প্রবাহ যাচ্ছে। উভয় তার কুণ্ডলীর কেন্দ্রে উৎপন্ন চৌম্বক ক্ষেত্রের প্রাবল্য B_A এবং B_B অনুপাত হবে

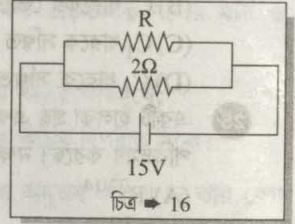
- (A) 1 (B) 2 (C) $\frac{1}{2}$ (D) 4.

- 32 m ভরের কোনো কণাকে $2R$ ব্যাসার্ধের বোর কক্ষপথ থেকে $3R$ ব্যাসার্ধের কক্ষপথে সংক্রমিত করতে যে শক্তি প্রয়োজন তা (নিউক্লিয়াসের ভর = M)

(A) $\frac{GmM}{12R^2}$ (B) $\frac{GMm}{3R^2}$ (C) $\frac{GmM}{8R}$ (D) $\frac{GMm}{6R}$

- 33 16 নং চিত্রে প্রদর্শিত বর্তনীতে অপচিত ক্ষমতা (power dissipation) 150 W হলে, R এর মান

(A) $2\ \Omega$ (B) $6\ \Omega$
(C) $5\ \Omega$ (D) $4\ \Omega$



- 34 তড়িৎ-চুম্বকীয় তরঙ্গ তির্যক তা বোঝা যায় নিম্নলিখিত ঘটনা থেকে

(A) সমবর্তন (B) ব্যাতিচার
(C) প্রতিফলন (D) অপবর্তন

- 35 নিম্নলিখিত রশ্মিগুলির মধ্যে কোনটি তড়িৎচুম্বকীয় তরঙ্গ নয় ?

(A) মহাজাগতিক রশ্মি (B) গ্যামা রশ্মি (C) বিটা রশ্মি (D) X-রশ্মি

- 36 কোন বস্তুর মুক্তিবৈগে তার ভর m এর উপর নিম্নলিখিতভাবে নির্ভর করে।

(A) m^1 (B) m^0 (C) m^2 (D) m^3

- 37 একটি $220\text{V}-1000\text{W}$ বৈদ্যুতিক বাতিকে 110V মেইনসে যুক্ত করলে ব্যয়িত ক্ষমতা

(A) 250 W (B) 500 W (C) 100 W (D) 750 W

- 38 0.4mH স্বাবেশাক্ষ বিশিষ্ট কোনো তার কুণ্ডলীতে 0.1 সেকেন্ড সময়ে 250 mA পরিমাণ তড়িৎ প্রবাহ বৃদ্ধি পেলে আবিষ্ট তড়িচ্চালক বলের মান

(A) $+1\text{V}$ (B) -1V (C) -1mV (D) $+1\text{mV}$

- 39 একটি X-রশ্মি নলে 50 kV বিভবপার্থক্য প্রয়োগ করলে উৎপন্ন X-রশ্মির ক্ষুদ্রতম তরঙ্গ দৈর্ঘ্য হবে

(A) 0.25 \AA (B) 0.5 \AA (C) 0.75 \AA (D) 1.0 \AA

- 40 P-শ্রেণির অর্ধপরিবাহীতে আধান পরিবাহী (charge carrier) হল

(A) ইলেকট্রন (B) $+ve$ গহ্বর (C) প্রোটন (D) নিউট্রন

- 41 চারটি পদাংশযুক্ত শব্দের প্রতিধ্বনি শুনতে হলে প্রতিফলকের ন্যূনতম দূরত্ব হবে (বায়ুতে শব্দের বেগ = 330 ms^{-1})

(A) 122 m (B) 130 m (C) 132 m (D) 150 m

- 42 n সংখ্যক ধারক-কে সমান্তরাল সমবায়িত যুক্ত রেখে V ভোল্ট বিভব-প্রভেদ দেওয়া হল। সঞ্চিত শক্তি হবে

(A) CV (B) $\frac{1}{2}nCV^2$ (C) CV^2 (D) $\frac{1}{2n}CV^2$

- 43 দুই দৃঢ় অবলম্বনের মধ্যে 40 cm দীর্ঘ একটি সুতা আটকানো আছে। ঐ তারে উৎপন্ন স্থানু তরঙ্গের সর্বাপেক্ষা বৃহৎ তরঙ্গদৈর্ঘ্যের মান হবে

(A) 20 cm (B) 80 cm (C) 40 cm (D) 120 cm

- 44 প্রচুর পরিমাণ সংখ্যাগুরু তড়িৎবাহক তৈরি করতে ট্রানজিস্টারের যে অংশকে খুব বেশি “ডোপ” করতে হয় তা

(A) নিঃসারক (B) ভূমি (C) সংগ্রাহক (D) যে-কোনো একটি

45. বৃত্তপথে পরিভ্রমণরত একটি তড়িৎপ্রস্তু কণিকা চৌম্বক ক্ষেত্রে থাকলে, তার আবর্তনের পর্যাকাল নির্ভর করে না তার
 (A) দ্রুতির উপর (B) ভরের উপর
 (C) আধানের উপর (D) চৌম্বক ক্ষেত্রের উপর।
46. একটি বৃপান্তরকের (transformer) মুখ্য কুণ্ডলীর পাক সংখ্যা 140 এবং গৌণ কুণ্ডলীর 280। মুখ্য কুণ্ডলীর প্রবাহমাত্রা 4A হলে গৌণকুণ্ডলীর প্রবাহমাত্রা হবে
 (A) 4A (B) 2A (C) 6A (D) 10A.
47. M ভরের একটি বৃত্তাকার তারের ব্যাসার্ধ r । তারের যে-কোনো ব্যাসের সাপেক্ষে তার জড়-ভ্রামক হবে
 (A) $\frac{1}{2}Mr^2$ (B) Mr^2 (C) $2Mr^2$ (D) $\frac{1}{4}mr^2$.
48. A এবং B দুটি সুরশলাকা একসঙ্গে কম্পিত করলে সেকেন্ডে 5টি স্বরকম্প উৎপন্ন হয়। সুরশলাকাদ্বয় যথাক্রমে 36 cm এবং 37 cm দীর্ঘ বন্ধ নলের বায়ুস্তম্ভের সাথে অনুনাদী হলে, তাদের কম্পাঙ্কের মান
 (A) 175, 180 (B) 180, 185 (C) 185, 190 (D) 195, 200.
49. 31.4 N-m স্থির মানের টর্ক কোনো ঘূর্ণায়মান হুইলের উপর ক্রিয়া করলে তার কৌণিক ত্বরণ হয় $4\pi \text{ rads}^{-2}$ । বস্তুটির জড় ভ্রামক
 (A) 3.5 kg m^2 (B) 4.5 kgm^2 (C) 1.5 kgm^2 (D) 2.5 kgm^2 .
50. শ্রেণি সমবায়ী যুক্ত দুটি ট্যানজেন্টে গ্যালভানোমিটারে (সমান ব্যাসার্ধযুক্ত) তড়িৎপ্রবাহ গেলে যথাক্রমে 60° এবং 45° বিক্ষেপ সৃষ্টি হয়। গ্যালভানোমিটারের তারের পাকসংখ্যার অনুপাত হবে
 (A) 4:3 (B) 1: $\sqrt{3}$ (C) $(\sqrt{3}+1):(\sqrt{3}-1)$ (D) $\sqrt{3}:1$.

❁ SET 7 ❁

1. একটি সরল রেখার দুইপ্রান্তে Q পরিমাণ তড়ি়তাহান রাখা আছে। সরল রেখার মধ্যবিন্দুতে q তড়ি়তাহান রাখলে সমগ্র সংস্থা স্থি়তাবস্থায় থাকে। তাহলে,
 (A) $q = \frac{Q}{2}$ (B) $q = -\frac{Q}{2}$ (C) $q = \frac{Q}{4}$ (D) $q = -\frac{Q}{4}$.
2. 1 m ব্যাসার্ধের একটি বৃত্তাকার পরিবাহীর ধারকত্ব ফ্যারাড এককে
 (A) 1.1×10^{-10} (B) 10^{-6} (C) 9×10^{-9} (D) 10^{-3} .
3. সোডিয়াম এবং তামার কার্য অপেক্ষক যথাক্রমে 2.3 eV এবং 4.5 eV। এদের প্রারম্ভ তরঙ্গদৈর্ঘ্যের অনুপাত (প্রায়)
 (A) 1:2 (B) 4:1 (C) 2:1 (D) 1:4.
4. গ্যাসের গতীয় তত্ত্ব থেকে প্রমাণ করা যায়
 (A) কেবল বয়েল সূত্র (B) কেবল চার্লস সূত্র
 (C) কেবল অ্যাভোগাড্রো উপপাদ্য (D) সব কটি।
5. আদর্শ গ্যাসের বেলায় চাপ P, গ্যাসস্থলক R এবং তাপমাত্রা T এর সাপেক্ষে প্রতি লিটারে মোল সংখ্যা
 (A) $\frac{P.T}{R}$ (B) $P.R.T$ (C) $\frac{P}{RT}$ (D) $\frac{RT}{P}$.

[Hints : $P.V = n.R.T. \therefore \frac{n}{V} = \frac{P}{RT}$]

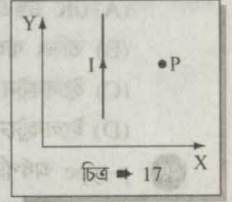
- 6 একটি তেজস্ক্রিয় পদার্থের অর্ধায়ু 5 বছর। পদার্থের প্রাথমিক ভর 64 g ; 15 বছরের কত পরিমাণ এই পদার্থ অবশিষ্ট থাকবে ?
 (A) 16 g (B) 2g (C) 32 g (D) 8 g.
- 7 M ভর এবং Q আধানযুক্ত একটি কণা B চৌম্বক ক্ষেত্রের অভিলম্বভাবে R ব্যাসার্ধের বৃত্তপথে \vec{v} গতিবেগ নিয়ে ঘুরছে। কণাটি সম্পূর্ণ বৃত্ত একবার ঘুরে এলে চৌম্বক ক্ষেত্র কর্তৃক কৃতকার্য
 (A) $\left(\frac{Mv^2}{R} \right) \times 2\pi R$ (B) শূন্য
 (C) B.Q.2 πR (D) B.Q.v $\times 2\pi R$.
- 8 -16×10^{-18} coulomb তড়িতাধানবিশিষ্ট একটি কণা x-অক্ষ বরাবর 10 ms^{-1} গতিবেগে নিয়ে এরূপ এক অঞ্চলে প্রবেশ করলো যেখানে y-অক্ষ বরাবর চৌম্বক ক্ষেত্র B এবং -z অক্ষ বরাবর তড়িৎক্ষেত্র 10^4 Vm^{-1} কাজ করছে। কণাটি বিচ্যুত না হয়ে x-অক্ষ বরাবর চলতে থাকলে, B-এর মান হবে
 (A) 10^3 Wbm^{-2} (B) 10^5 Wbm^{-2} (C) 10^{16} Wbm^{-2} (D) 10^{-3} Wbm^{-2} .
 [Hints : $v = \frac{E}{B}$ অথবা $10 = \frac{10^4}{B} \therefore B = 10^3 \text{ Wbm}^{-2}$]
- 9 $y = 10 \sin \frac{\pi x}{4} \cos 20 \pi t$ সমীকরণটি কোনো স্থাগুতরঙ্গ প্রকাশ করলে এই তরঙ্গের উপর পরপর দুটি নিম্পন্দ বিন্দুর দূরত্ব হবে
 (A) 2 একক (B) 8 একক (C) 4 একক (D) 16 একক।
- 10 R ব্যাসার্ধের এবং 600 পাক বিশিষ্ট একটি তারকুণ্ডলীর স্বাবেশাঙ্ক 108 mH ; একই ব্যাসার্ধের এবং 500 পাক বিশিষ্ট অন্য এক কুণ্ডলীর স্বাবেশাঙ্ক হবে
 (A) 75 mH (B) 108 mH (C) 90 mH (D) 80 mH.
- 11 এক জোড়া সমিহিত কুণ্ডলীর পারস্পরিক আবেশাঙ্ক 1.5 henry ; যদি মুখ্যকুণ্ডলীতে প্রবাহ 0.05 সেকেন্ডে 0 থেকে 20A হয় তাহলে গৌণকুণ্ডলীতে আবিষ্ট তড়িচ্চালক বল হবে
 (A) 500 V (B) 600 V (C) 650 V (D) 550 V.
- 12 সমগতিসম্পন্ন নিম্নলিখিত কোন্ কণাটির দ্য ব্রয় তরঙ্গ দৈর্ঘ্য সব থেকে কম হয় ?
 (A) ইলেকট্রন (B) α -কণা (C) প্রোটন (D) নিউট্রন।
- 13 সাধারণ ভূমি সংযোগের ক্ষেত্রে কোন্ ট্রানজিস্টারের প্রবাহ বিবর্ধন 0.99 ; নিঃসারক প্রবাহের মান 5 mA পরিবর্তন ঘটাতে সংগ্রাহক প্রবাহের যে পরিবর্তন প্রয়োজন তা
 (A) 0.196 mA (B) 2.45 mA (C) 4.95 mA (D) 5.1 mA.
- 14 মঙ্গলগ্রহের ভর পৃথিবীর ভরের $\frac{1}{10}$ ভাগ এবং ব্যাস পৃথিবীর ব্যাসের অর্ধেক। মঙ্গল গ্রহে অবাধে পতনশীল বস্তুর ত্বরণ হবে
 (A) 9.8 ms^{-2} (B) 1.96 ms^{-2} (C) 3.92 ms^{-2} (D) 4.9 ms^{-2}
- 15 1 m দীর্ঘ সুতোয় বাঁধা একটি পাথরখণ্ডকে 4 ms^{-1} স্থির বেগে উল্লম্ব বৃত্ত বরাবর ঘোরানো হচ্ছে। যে স্থানে সুতোয় টান 52N হবে তা
 (A) বৃত্তের সর্বোচ্চ বিন্দু (B) অর্ধবৃত্ত নীচে
 (C) বৃত্তের সর্বনিম্ন বিন্দুতে (D) কোনোটিই না।

- 16 স্থির দ্রুতিতে কোনো বস্তু বৃত্তপথে পরিভ্রমণ করলে তার
 (A) স্থির গতিবেগ থাকে,
 (B) কোনো ত্বরণ থাকে না,
 (C) ব্যাসার্ধ বরাবর কেন্দ্রমুখী ত্বরণ থাকে,
 (D) ব্যাসার্ধ বরাবর বহির্মুখী ত্বরণ থাকে।
- 17 বালি ভর্তি একটি ট্রাক u বেগে অনুভূমিক মসৃণ তলে গতিশীল আছে। Δt সময়ে Δm পরিমাণ বালি ট্রাক থেকে পড়ে গেলে যে বল ট্রাককে একই গতিবেগে গতিশীল রাখবে তা
 (A) $u \Delta m / \Delta t$ (B) $\Delta m \cdot du / dt$
 (C) $u \frac{\Delta m}{\Delta t} + (\Delta m) \frac{du}{dt}$ (D) শূন্য।
- 18 জলভর্তি একটি বালতিকে উল্লম্ব বৃত্তপথে ঘোরালে বালতি থেকে জল পড়ে যায় না যখন
 (A) বালতির সর্বাধিক দ্রুতি $= \sqrt{5gR}$
 (B) বালতির সর্বনিম্ন দ্রুতি $= \sqrt{gR}$
 (C) বালতি প্রতি মিনিটে n বার ঘুরে আসে যেখানে $n = \sqrt{900g / \pi^2 R}$
 (D) বালতি প্রতি মিনিটে n বার ঘুরে আসে যেখানে $n = \sqrt{3600g / \pi^2 R}$ ।
- 19 নিম্নলিখিত উক্তিগুলির মধ্যে কোনটি ঠিক ?
 (A) কোন গ্যাসের গড় আণবিক গতিশক্তি সকল তাপমাত্রাতে সমান,
 (B) গ্যাসের গড় আণবিক গতিশক্তি তাপমাত্রার উপর নির্ভর করে না,
 (C) 1g গ্যাসের গড় গতিশক্তি সমান তাপমাত্রায় সকল গ্যাসের বেলায় সমান,
 (D) 1g গ্যাসের গড় গতিশক্তি সকল গ্যাসের বেলায় তাপমাত্রার উপর নির্ভর করে না।
- 20 27°C উষ্ণতায় কোনো গ্যাস অণুর গড় গতিশক্তি $6.2 \times 10^{-21} \text{ J}$; 227°C উষ্ণতায় গড় গতিশক্তি হবে
 (A) $9.35 \times 10^{-21} \text{ J}$ (B) $10.35 \times 10^{-21} \text{ J}$ (C) $11.35 \times 10^{-21} \text{ J}$ (D) $12.35 \times 10^{-21} \text{ J}$ ।
- 21 5 cm ব্যাসার্ধের একটি ধাতব গোলককে এরূপ তড়িৎাধান দেওয়া হল যে তার পৃষ্ঠে বিভব হল 10V; গোলকের কেন্দ্রে বিভব হবে
 (A) শূন্য (B) 10V
 (C) পৃষ্ঠ থেকে 5 cm দূরে যে বিভব তার সমান,
 (D) কেন্দ্র থেকে 25 cm দূরে যে বিভব তার সমান।
- 22 4μF ধারকত্বের একটি ধারককে 400V বিভবে আহিত করার পর তার প্লেট দুটিকে একটি রোধ দ্বারা যুক্ত করা হল। রোধে যে তাপ উৎপন্ন হবে তা
 (A) 0.64 J (B) 0.32 J (C) 0.16 J (D) 0.28 J।
- [Hints : ধারকে সঞ্চিত শক্তি $= \frac{1}{2} CV^2 = \frac{1}{2} \times 4 \times 10^{-6} \times (400)^2 = 0.32 \text{ J}$
 ∴ 0.32 J তাপ উৎপন্ন হবে]
- 23 বায়ুধারক সমান্তরাল প্লেট ধারকের ধারকত্ব 10^{-12} F । ধারকের প্লেট দুটির ব্যবধান দ্বিগুন করা হল। তাদের ভিতর মোম ভর্তি করলে ধারকত্ব হয় $2 \times 10^{-12} \text{ F}$ । মোমের পরাবৈদ্যুতিক ধ্রুবক হবে
 (A) 2.0 (B) 3.0 (C) 4.0 (D) 8.0।

- 24 12 এবং 8 মাইক্রোকুলম্বের দুটি বিন্দু তড়িৎধান 10 cm দূরত্বে বায়ুমধ্যে স্থাপিত আছে। তাদের 4 cm কাছে আনতে কৃতকার্য
(A) শূন্য (B) 3.8 J (C) 4.8 J (D) 5.8 J.
- 25 একটি আহিত সমান্তরাল প্লেট ধারকের প্লেট দুটির মধ্যে কোন k পরাবৈদ্যুতিক ধ্রুবকের পদার্থ ঢোকালে, প্লেট দুটির মাঝে কোন বিন্দুতে তড়িৎক্ষেত্র
(A) বৃদ্ধি পায় (B) হ্রাস পায় (C) একই থাকে (D) অসীম হয়।
- 26 নির্ভুল পরিমাপের ক্ষেত্রে, ভোল্টমিটারের রোধ হওয়া উচিত
(A) যথাসম্ভব বেশি,
(B) যে রোধের প্রান্তীয় বিভব প্রভেদ মাপা হবে তার সমান,
(C) যথা সম্ভব কম,
(D) অসীম।
- 27 একটি ডি.সি. মিলি অ্যামিটারের রোধ $12\ \Omega$ এবং $0.01\ \text{A}$ প্রবাহে পুরো স্কেল বিক্ষেপ প্রদর্শন করে। 3V পর্যন্ত পঠনক্ষম ভোল্টমিটারে রূপান্তরিত করতে যন্ত্রের সঙ্গে শ্রেণি সমবায়ে যে রোধ যুক্ত করতে হবে, তা
(A) $102\ \Omega$ (B) $288\ \Omega$ (C) $300\ \Omega$ (D) $412\ \Omega$.
- 28 একটি বৈদ্যুতিক কেটলির দুটি তাপ-কুণ্ডলী আছে। একটি কুণ্ডলীকে মাইনসের সঙ্গে যুক্ত করলে কেটলির জল 10 মিনিটে ফুটতে শুরু করে। অপরটিকে যুক্ত করলে একই পরিমাণ জল 45 মিনিটে ফুটতে শুরু করে। কুণ্ডলী দুটিকে সমান্তরাল সমবায়ে লাগালে একই পরিমাণ জল যে সময়ে ফুটতে শুরু করবে তা
(A) 6 মিনিট (B) 12 মিনিট (C) 18 মিনিট (D) 24 মিনিট।
- 29 $12\text{V}-24\text{W}$ রেটের একটি ফিলামেন্ট বাল্বকে শ্রেণি সমবায়ে আবদ্ধ n সংখ্যক কোশ হতে তড়িৎপ্রবাহ পাঠানো হচ্ছে। প্রত্যেক কোশের তড়িচ্চালক বল 1.5V এবং অভ্যন্তরীণ রোধ $0.25\ \Omega$ । n এর মান কি হলে বাল্বগুলি রেটিং অনুযায়ী ক্ষমতা পাবে?
(A) 6 (B) 8 (C) 12 (D) 16.
- 30 একটি সুযম পরিবাহী তারের দুই প্রান্তে স্থির তড়িচ্চালক বল প্রয়োগ করা হল। তারের দৈর্ঘ্য এবং ব্যাসার্ধ একই সঙ্গে দ্বিগুন করা হল। এতে
(A) পরিবাহীতে উৎপন্ন তাপ দ্বিগুন হবে (B) তারের দুই প্রান্তে তড়িৎক্ষেত্র দ্বিগুন হবে
(C) পরিবাহীতে একই তাপ উৎপন্ন হবে (D) তারের দুই প্রান্তে তড়িৎক্ষেত্র অর্ধেক হবে।
- 31 চৌম্বক নিরক্ষরেখা বরাবর অগ্রসর হলে, নতি কোণ
(A) ক্রমশ বৃদ্ধি পায় (B) ক্রমশ হ্রাস পায়
(C) একই থাকে (D) গতির অভিমুখ অনুযায়ী বৃদ্ধি পায় বা হ্রাস পায়।
- 32 তড়িৎপ্রবাহ কণার উপর চৌম্বক ক্ষেত্র
(A) সর্বদা বল প্রয়োগ করে,
(B) কখনও বল প্রয়োগ করে না,
(C) বলপ্রয়োগ করে যদি কণা চৌম্বক ক্ষেত্রের অভিমুখে গতিশীল হয়,
(D) বল প্রয়োগ করে যদি কণা চৌম্বক ক্ষেত্রের অভিলম্ব দিকে গতিশীল হয়।
- 33 একটি চৌম্বক দ্বিমেরুর লম্বদ্বিখণ্ডকের ওপর কোন বিন্দুতে চৌম্বক
(A) বিভব $\frac{1}{r^2}$ সঙ্গে পরিবর্তিত হয় (B) বিভব শূন্য হয়
(C) প্রাবল্য $\frac{1}{r^2}$ সঙ্গে পরিবর্তিত হয় (D) প্রাবল্য দ্বিমেরু অক্ষের সমান্তরাল হয়।

34. $0.5g$ ভরের একটি কণাতে $2.5 \times 10^{-8}C$ আধান আছে। কণাকে $6 \times 10^4 ms^{-1}$ প্রাথমিক অনুভূমিক বেগ দেওয়া হল। কণাটির অনুভূমিক বেগ অব্যাহত রাখতে
 (A) চৌম্বক ক্ষেত্র বেগের অভিমুখের অভিলম্ব হওয়া প্রয়োজন
 (B) চৌম্বক ক্ষেত্র বেগের অভিমুখের দিকে হওয়া প্রয়োজন
 (C) চৌম্বক ক্ষেত্রের ন্যূনতম মান হবে $3.27 T$
 (D) কোনো চৌম্বক ক্ষেত্রের প্রয়োজন হবে না।

35. Y-অক্ষের সমান্তরাল একটি ঋজু তারে তড়িৎপ্রবাহ যাচ্ছে (চিত্র 17)। প্রবাহের দরুন চৌম্বক ক্ষেত্র
 (A) কোন বিন্দু P-তে X-অক্ষের সমান্তরাল,
 (B) Z-অক্ষের সমান্তরাল,
 (C) চৌম্বক বলরেখা তারকে কেন্দ্র করে বৃত্তাকার হবে,
 (D) তারের দক্ষিণ ও বাম দিকে বলরেখা বিপরীতমুখী।



36. নিম্নলিখিত ঘটনাগুলির কোনটিকে আলোর তরঙ্গ তত্ত্ব ব্যাখ্যা করতে পারে না
 (A) প্রতিসরণ (B) পূর্ণ অভ্যন্তরীণ প্রতিফলন
 (C) অপবর্তন (D) আলোক তড়িৎফলাফল।
37. ইয়ং-এর দ্বি-ছিদ্র (double slit) পরীক্ষায় প্রাপ্ত ব্যতিচার ঝালরের কি রকম পরিবর্তন হবে যদি হলুদ বর্ণের আলোর পরিবর্তে লাল বর্ণের আলো ব্যবহার করা হয়?
 (A) ব্যতিচার ঝালর অদৃশ্য হয়ে যাবে (B) ঝালর উজ্জ্বলতর হবে
 (C) ঝালর প্রস্থ কমে যাবে (D) ঝালর প্রস্থ বেড়ে যাবে।

[Hints : ঝালর প্রস্থ $= \frac{D}{2d} \cdot \lambda$; লালবর্ণের আলোর তরঙ্গ দৈর্ঘ্য হলুদ বর্ণের আলোর চাইতে বেশি]

38. দুটি ইলেকট্রন গুচ্ছের গতিবেগের অনুপাত $1 : 2$; এরা পৃথকভাবে একই চৌম্বক ক্ষেত্রের ভিতর দিয়ে গতিশীল হল। এদের বিক্ষেপের অনুপাত
 (A) $4 : 1$ (B) $1 : 2$ (C) $1 : 4$ (D) $2 : 1$ ।
39. এক অঞ্চলে খাড়া নিম্নমুখী সুষম চৌম্বক ক্ষেত্র কাজ করছে। একটি ইলেকট্রন অনুভূমিক ভাবে বাম থেকে দক্ষিণে এসে চৌম্বক ক্ষেত্রে প্রবেশ করল। ইলেকট্রন স্থির দুটি নিয়ে
 (A) উল্লম্ব তলে ঘড়ির কাঁটার দিকে বৃত্তপথে ঘুরে যাবে,
 (B) অনুভূমিক তলে ঘড়ির কাঁটার দিকে ঘুরে যাবে,
 (C) অনুভূমিক তলে ঘড়ির কাঁটার বিপরীত দিকে ঘুরে যাবে,
 (D) উল্লম্ব তলে ঘড়ির কাঁটার বিপরীত দিকে ঘুরে যাবে।
40. লাইম্যান শ্রেণির বর্ণালীর ক্ষুদ্রতম তরঙ্গদৈর্ঘ্য 911.6 \AA । ঐ শ্রেণির দীর্ঘতম তরঙ্গদৈর্ঘ্য হবে
 (A) 1215 \AA (B) ∞ (C) 2430 \AA (D) 600 \AA ।
41. হাইড্রোজেন পরমাণুর ইলেকট্রন প্রথম বোর কক্ষপথ থেকে ক'বার ঘুরে আসে?
 (A) $\frac{4\pi^2 mr^2}{h}$ (B) $\frac{h}{4\pi^2 mr^2}$ (C) $\frac{h}{2\pi mr}$ (D) $\frac{2\pi mr}{h}$ ।

42. একটি x-ray নল থেকে যে সব রশ্মি নির্গত হচ্ছে তাদের মধ্যে সর্বনিম্ন তরঙ্গদৈর্ঘ্য 0.2475 \AA । নলে কার্যকর ভোল্টেজ হবে
 (A) 5 kV (B) 25 kV (C) 50 kV (D) 100 kV ।

43. z পারমাণবিক সংখ্যার কোন উৎস থেকে নির্গত K_{α} রেখার কম্পাঙ্ক
 (A) $\propto z^2$ (B) $\propto (z-1)^2$ (C) $\propto \frac{1}{z}$ (D) $\propto z$
44. একটি x-ray ফোটনের তরঙ্গদৈর্ঘ্য 0.02 \AA । এর ভরবেগ হবে
 (A) $3.3 \times 10^{-22} \text{ kg ms}^{-1}$ (B) $6.626 \times 10^{-21} \text{ kg ms}^{-1}$
 (C) $6.626 \times 10^{-24} \text{ kgms}^{-1}$ (D) $1.65 \times 10^{22} \text{ kg ms}^{-1}$
45. একটি বিশুদ্ধ অর্ধপরিবাহীর ক্ষেত্রে কোন উক্তিটি যথার্থ?
 (A) 0K উষ্ণতায় এটি উত্তম অন্তরক,
 (B) তড়িৎ বাহকের সংখ্যা উষ্ণতার সাথে সূচকীয় (exponential) ভাবে পরিবর্তিত হয়,
 (C) ইলেকট্রন ঘনত্ব সর্বদা গহ্বর ঘনত্ব অপেক্ষা বেশি,
 (D) ইলেকট্রনের সচলতা (mobility) গহ্বরের সচলতা অপেক্ষা বেশি।
46. p-type অর্ধপরিবাহী তৈরি করতে বিশুদ্ধ সিলিকনকে যে অপদ্রব্য দ্বারা “ডোপ” করতে হয় তা
 (A) ফসফরাস (B) বোরন (C) অ্যান্টিমনি (D) অ্যালুমিনিয়াম।
47. একটি N-P-N ট্রানজিস্টার বর্তনীতে সংগ্রাহক প্রবাহ (I_C) 10 mA। নির্গত ইলেকট্রনের 90% সংগ্রাহকে পৌঁছালে
 (A) নিঃসারক প্রবাহ (I_E) হবে প্রায় 9mA (B) নিঃসারক প্রবাহ (I_E) হবে প্রায় 11 mA
 (C) ভূমি প্রবাহ (I_B) হবে প্রায় 1 mA (D) ভূমি প্রবাহ হবে প্রায় -1 mA.
- [Hints : $I_C = \frac{90}{100} \cdot I_E = 0.9 I_E$; যেহেতু $I_C = 10 \text{ mA}$ তাই $I_E = 10 \times \frac{10}{9} = 11 \text{ mA}$
 তাছাড়া $I_B - I_E = I_C = (11.1 - 10) = 1 \text{ mA}$]
48. 300 volt cm^{-1} তড়িৎক্ষেত্রে একটি ইলেকট্রন 10^6 ms^{-1} গতিবেগ নিয়ে 1m ব্যাসার্ধের বৃত্তপথে পরিভ্রমণ করে। ইলেকট্রনের গতিবেগ দ্বিগুণ করলে, কি পরিমাণ তড়িৎ ক্ষেত্র প্রয়োজন হবে যাতে ইলেকট্রন একই বৃত্তপথে ঘুরতে পারে?
 (A) $1200 \text{ volt cm}^{-1}$ (B) 1200 volt m^{-1} (C) 600 volt m^{-1} (D) $2400 \text{ volt cm}^{-1}$.
49. দুটি আবেশকুণ্ডলীকে সমান্তরাল সমবায়ে যুক্ত করলে তারা 8H স্বাবেশাঙ্কের তুল্য হয় কিন্তু শ্রেণি সমবায়ে যুক্ত করলে তুল্য স্বাবেশাঙ্ক হয় 1.5 H. কুণ্ডলীদ্বয়ের পৃথক আবেশ হবে
 (A) 2H, 6H (B) 3H, 2H (C) 4H, 1H (D) 6H, 2H.
- [Hints : সমান্তরাল সমবায়ে তুল্য আবেশ $= L_1 + L_2$; শ্রেণি সমবায়ে $= \frac{1}{\frac{1}{L_1} + \frac{1}{L_2}}$]
50. একটি নিরেট গোলাকার বল টেবিলের উপর দিয়ে গড়াচ্ছে। বলটির মোট গতিশক্তির যে অংশ আবর্ত গতিশক্তি তা হল
 (A) $\frac{3}{7}$ (B) $\frac{2}{7}$ (C) $\frac{4}{7}$ (D) $\frac{5}{7}$.

❀ SET 8 ❀

1. 2kg ভরের একটি বস্তু 0.8m ব্যাসার্ধের বৃত্তপথে 44 rads^{-1} কৌণিক গতিবেগ নিয়ে ঘুরছে। বৃত্তপথের ব্যাসার্ধ 1m হলে নতুন কৌণিক গতিবেগ হবে
 (A) 28.16 rads^{-1} (B) 19.28 rad s^{-1} (C) 8.12 rad s^{-1} (D) 35.26 rad s^{-1} .

- 2 একটি গোলকের বৃত্তীয় গতিশক্তি ও রৈখিক গতিশক্তির অনুপাত
 (A) $\frac{2}{7}$ (B) $\frac{2}{5}$ (C) $\frac{2}{9}$ (D) $\frac{7}{2}$.
- 3 কোনো এক অক্ষ সাপেক্ষে এক বস্তুর জাড্য ভ্রামক 1.2 kg.m^2 । বস্তুর বৃত্তীয় গতিশক্তি 1500 J করতে যে সময় ব্যাপী 25 rad s^{-2} কৌণিক ত্বরণ প্রয়োগ করতে হবে তা (বস্তু প্রাথমিক অবস্থায় স্থির ছিল)
 (A) 8 s (B) 2 s (C) 1 s (D) 10 s .
- 4 পৃথিবীর উত্তর ও দক্ষিণ মেরু অঞ্চল একটু চাপা এবং বিষুব অঞ্চল একটু স্ফীত। এর কারণ
 (A) সূর্যের চতুর্দিকে উপবৃত্তাকার কক্ষপথে পৃথিবীর পরিভ্রমণ,
 (B) পৃথিবীর নিজ অক্ষের চতুর্দিকে ঘূর্ণনের কৌণিক বেগ বিষুব অঞ্চলে বেশি,
 (C) পৃথিবীর অপকেন্দ্র বল মেরু প্রদেশে অপেক্ষা বিষুব অঞ্চলে বেশি,
 (D) কোনোটিই নয়।
- 5 বিষুব অঞ্চল থেকে মেরুর দিকে নিয়ে গেলে একটি বস্তুর ওজন
 (A) ক্রমশ বাড়ে
 (B) ক্রমশ কমে
 (C) বাড়েও না, কমেও না
 (D) উত্তর মেরুতে বাড়ে কিন্তু দক্ষিণ মেরুতে কমে।
- 6 $6\mu\text{F}$ ধারকত্বের একটি পরিবাহীর বিভব 10V থেকে 20V বাড়ালে তার শক্তি বৃদ্ধি হবে
 (A) $9 \times 10^{-4} \text{ J}$ (B) $4 \times 10^{-6} \text{ J}$ (C) $4 \times 10^{-4} \text{ J}$ (D) $12 \times 10^{-6} \text{ J}$.
- 7 220V A.C. মেইনস-এর শীর্ষমান হবে
 (A) $\frac{220}{\sqrt{2}} \text{ V}$ (B) $220\sqrt{2} \text{ V}$ (C) $200\sqrt{2} \text{ V}$ (D) $240\sqrt{2} \text{ V}$.
- 8 শ্রেণি সমবায়ে না লাগিয়ে অ্যামমিটারকে সমান্তরাল সমবায়ে লাগালে, যন্ত্রটি নষ্ট হয়ে যায় কারণ
 (A) অতিরিক্ত রোধ (B) অতিরিক্ত ভোল্টেজ (C) অতিরিক্ত প্রবাহ (D) কোনোটিই না।
- 9 স্থির আয়তনে আদর্শ গ্যাসের আপেক্ষিক তাপ (C_v) এবং স্থির চাপে (C_p) হলে
 (A) $C_v > C_p$ (B) $C_v = C_p$ (C) $C_v < C_p$ (D) কোনোটিই নয়।
- 10 কোনো গ্যাসের দুই আপেক্ষিক তাপের অনুপাত $1 : 4$ । প্রমাণ চাপ ও তাপমাত্রায় ঐ গ্যাসের ঘনত্ব 0.09 gcm^{-3} । প্রমাণ চাপ $= 1.01 \times 10^6 \text{ dyne cm}^{-2}$ । দুই আপেক্ষিক তাপের মান
 (A) $C_p = 3.43 \text{ cal/gK}$; $C_v = 2.4 \text{ cal/gK}$,
 (B) $C_p = 2.4 \text{ cal/gK}$; $C_v = 3.43 \text{ cal/gK}$,
 (C) $C_p = 2.43 \text{ cal/gK}$; $C_v = 3.1 \text{ cal/gK}$,
 (D) $C_p = 3.1 \text{ cal/gK}$; $C_v = 2.43 \text{ cal/gK}$.
- 11 প্রত্যেকটির চৌম্বক ভ্রামক M এরূপ দুটি চুম্বক দণ্ডকে পারস্পরিক লম্বভাবে রাখা আছে। এদের চৌম্বক ভ্রামক হবে
 (A) $\frac{M}{2}$ (B) $M\sqrt{2}$ (C) $2M$ (D) $M/\sqrt{2}$.

12. $0.02 \mu\text{F}$ ধারকত্বের একটি সমান্তরাল প্লেট ধারক নির্মাণ করতে হবে। প্লেট দুটির ভিতর পরাবৈদ্যুতিক ধ্রুবক $k=6$ যুক্ত 0.02 mm পুরু অভ্র পাত রাখতে হবে। এ অবস্থায় ধারকের

প্লেটের ক্ষেত্রফল হবে ($\epsilon_0 = 8.85 \times 10^{-12} \frac{\text{C}^2}{\text{Nm}^2}$)

- (A) $7.5 \times 10^{-3} \text{ m}^2$ (B) $3.8 \times 10^{-3} \text{ m}^2$ (C) $2.6 \times 10^{-2} \text{ m}^2$ (D) $9.8 \times 10^{-6} \text{ m}^2$.

13. সাইক্লোট্রোন এমন একটি যন্ত্র যা ব্যবহার করা হয়

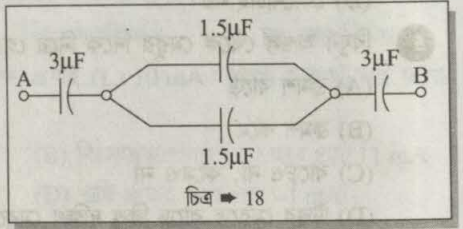
- (A) প্রোটন কণা ত্বরান্বিত করতে (B) ভোল্টেজ পরিমাপে
(C) আধান পরিমাপে (D) ইলেকট্রন ত্বরান্বিত করতে।

14. $3\mu\text{F}$, $10\mu\text{F}$ এবং $15\mu\text{F}$ ধারকত্বের তিনটি ধারককে শ্রেণি সমবায়ে যুক্ত করে 100 V বিভব প্রভেদ দেওয়া হল। $15\mu\text{F}$ ধারকের আধান হবে

- (A) $200 \mu\text{C}$ (B) $100 \mu\text{C}$ (C) $25 \mu\text{C}$ (D) $280 \mu\text{C}$.

15. 18নং চিত্রে প্রদর্শিত বর্তনীর A এবং B বিন্দুর ভিতর ধারকত্ব হবে

- (A) $2\mu\text{F}$ (B) $3\mu\text{F}$
(C) $4\mu\text{F}$ (D) $1\mu\text{F}$.



16. একটি আদর্শ গ্যাসের চাপ P এবং আয়তন প্রতি গতিশক্তি E ; নিম্নলিখিত সম্পর্কগুলির মধ্যে কোনটি নির্ভুল?

- (A) $P=E$ (B) $P = \frac{2}{3} E$ (C) $P = \frac{1}{2} E$ (D) $P = \frac{3}{2} E$.

17. 10^5 Nm^{-2} চাপে বায়ুর ঘনত্ব 1.2 kg m^{-3} ; বায়ুর অণুগুলির r.m.s. গতিবেগ হবে

- (A) 500 ms^{-1} (B) 1000 ms^{-1} (C) 1500 ms^{-1} (D) 3000 ms^{-1} .

18. স্থির আয়তনে আদর্শ গ্যাসকে উত্তপ্ত করে চাপ দ্বিগুণ করা হল। নিম্নলিখিত উক্তিগুলির মধ্যে কোনটি নির্ভুল?

- (A) অণুগুলির গড় গতিবেগ দ্বিগুণ হবে,
(B) গ্যাস অণুর r.m.s গতিবেগ দ্বিগুণ হবে,
(C) গ্যাস অণুগুলির গড় বর্গ বেগ দ্বিগুণ হবে,
(D) কোনোটিই না।

19. ভূচৌম্বক ক্ষেত্রে অনুভূমিক উপাংশ (H), উল্লম্ব উপাংশ (V) এবং মোট ক্ষেত্রপ্রাবল্য (I) হলে নিম্নলিখিত সম্পর্কগুলির মধ্যে কোনটি নির্ভুল?

- (A) $V = I^2 + H^2$ (B) $I = V + H$ (C) $I^2 = V^2 + H^2$ (D) $V^2 = I + H$.

20. নিম্নলিখিত ঘটনাগুলির মধ্যে কোনটি আলোর দ্বৈত সত্ত্বা প্রদর্শন করে?

- (A) অপবর্তন ও প্রতিফলন (B) প্রতিসরণ ও ব্যতিচার
(C) আলোকতড়িৎ ঘটনা (D) অপবর্তন ও আলোকতড়িৎ ঘটনা।

21. একটি নলের প্রস্থচ্ছেদ দিয়ে ডান দিক থেকে বাঁ দিকে 3.13×10^{15} ইলেকট্রন যাচ্ছে এবং বাঁ দিক থেকে ডান দিকে 3.12×10^{15} প্রোটন যাচ্ছে। নলের তড়িৎ প্রবাহের মান ও অভিমুখ হবে

- (A) 2 mA দক্ষিণ দিকে (B) 1 mA বাঁ দিকে
(C) 1 mA দক্ষিণ দিকে (D) 2 mA বাঁ দিকে।

[Hints : তড়িৎ প্রবাহ $I = m_e q_e + n_p q_p = (3.13 \times 10^{15})(1.6 \times 10^{-19}) + (3.12 \times 10^{15})(1.6 \times 10^{-19}) = 1 \text{ mA}$]

- 22 ইলেকট্রনের ($m = 9 \times 10^{-31} \text{ kg}$) দ্য ব্রয় তরঙ্গদৈর্ঘ্য 0.315 \AA । ইলেকট্রনের গতিবেগ ($h = 6.6 \times 10^{-34} \text{ J-s}$)

(A) $6.335 \times 10^9 \text{ ms}^{-1}$ (B) $4.335 \times 10^8 \text{ ms}^{-1}$
(C) $2.335 \times 10^7 \text{ ms}^{-1}$ (D) $8.335 \times 10^{10} \text{ ms}^{-1}$

- 23 500 Hz কম্পাঙ্কের শব্দতরঙ্গ 5 সেকেন্ডে 100 m দূরত্ব অতিক্রম করল। ওই দূরত্বের মধ্যে তরঙ্গ সংখ্যা

(A) 500 (B) 1000 (C) 2500 (D) 5000

- 24 50 Hz, এবং 100 Hz কম্পাঙ্কবিশিষ্ট দুটি সুরশলাকা কম্পনশীল অবস্থায় পৃথকভাবে জলে স্পর্শ করলে যথাক্রমে 0.06 m এবং 0.36 m তরঙ্গদৈর্ঘ্যের তরঙ্গ সৃষ্টি হয়। এই দুটি পৃষ্ঠ তরঙ্গের বেগের অনুপাত হবে

(A) 1 : 12 (B) 5 : 12 (C) 1 : 9 (D) 1 : 13

- 25 গ্যাসের আর্দ্রতা বৃদ্ধি পেলে ওই গ্যাসে শব্দের গতিবেগ

(A) সামান্য হ্রাস পায় (B) সামান্য বৃদ্ধি পায়
(C) অপরিবর্তিত থাকে (D) কোনটাই না।

- 26 একবর্ণের আলো একটি ধাতব পৃষ্ঠে আপতিত হলে 0 থেকে 2.6 eV পাল্মার গতিশক্তিযুক্ত ইলেকট্রন নির্গত হয়। দৃঢ়ভাবে আবদ্ধ ইলেকট্রনকে মুক্ত করতে 4.2 eV শক্তি প্রয়োজন হলে, আপতিত ফোটনগুলির নিম্নতম শক্তি কত?

(A) 6.8 eV (B) 4.2 eV (C) 2.7 eV (D) 9.2 eV

[Hints : $h\nu = \frac{1}{2}mv^2 + \phi_0$; $\frac{1}{2}mv^2 = \Delta E = 2.6 \text{ eV}$; $\phi_0 = 4.2 \text{ eV}$]

- 27 একই উপাদানে তৈরি দুটি তারের দৈর্ঘ্য l এবং $2l$ এবং ব্যাসার্ধ যথাক্রমে $2r$ এবং r । তাদের একই টানে টান করা আছে। l দৈর্ঘ্যের তারের মূলসূরের কম্পাঙ্ক v_1 হলে অন্যটির কম্পাঙ্ক

v_2 । এ অবস্থায় $\frac{v_1}{v_2}$ হবে

(A) 2 (B) 4 (C) 8 (D) 1

- 28 একটি ট্রেন 34 ms^{-1} গতিবেগ নিয়ে একজন স্থির পর্যবেক্ষকের দিকে অগ্রসর হচ্ছে। ট্রেন বংশীধ্বনি করলে পর্যবেক্ষক তার কম্পাঙ্ক শুনলো f_1 । ট্রেনের গতিবেগ কমে 17 ms^{-1} হলে

কম্পাঙ্ক শোনা গেল f_2 । বায়ুতে শব্দের গতিবেগ 340 ms^{-1} হলে $\frac{f_1}{f_2}$ অনুপাত হবে

(A) $\frac{18}{19}$ (B) $\frac{1}{2}$ (C) 2 (D) $\frac{19}{18}$

- 29 q তড়িৎ আধানের জন্য r দূরে তড়িৎ বিভব V ; q আধানের পরিবর্তে $4q$ আধান নিলে ঐ বিন্দুতে বিভব হবে

(A) $\frac{1}{2}V$ (B) $2V$ (C) $4V$ (D) 0

- 30 4 বায়ুমণ্ডলীয় চাপে এবং 1 বায়ুমণ্ডলীয় চাপে বায়ুতে শব্দের গতিবেগের অনুপাত হবে

(A) 1 : 1 (B) 4 : 1 (C) 1 : 4 (D) 3 : 1

31. নিম্নলিখিত ধাতুগুলির মধ্যে কোনটি অয়স্চৌম্বক ?
 (A) অ্যালুমিনিয়াম (B) কোয়ার্টজ (C) নিকেল (D) বিসমাথ।
32. হর্ন বাজাতে বাজাতে একটি গাড়ি একজন পর্যবেক্ষকের দিকে অগ্রসর হচ্ছে। পর্যবেক্ষক যে কম্পাঙ্কের শব্দ শুনলো হর্নের শব্দের প্রকৃত কম্পাঙ্ক থেকে তার পার্থক্য 10%। বায়ুতে শব্দের বেগ 300 ms^{-1} হলে গাড়ির গতিবেগ হবে
 (A) 36.7 ms^{-1} (B) 40 ms^{-1} (C) 30 ms^{-1} (D) 33 ms^{-1} ।
33. একটি তড়িৎচালিত প্লেটের (আধানের ঘনত্ব = σ) নিকটবর্তী বিন্দুর তড়িৎপ্রাবল্য
 (A) $4\pi\sigma$ (B) $\frac{4\pi\sigma}{k}$ (C) $2\pi\sigma$ (D) $\frac{2\pi\sigma}{k}$ ।
34. W ওজনের একটি বস্তুকে সুতোয় বেঁধে উল্লম্ব পৃষ্ঠপথে ঘোরানো হচ্ছে। বস্তু যখন বৃত্তের সর্বনিম্ন বিন্দুতে তখন সুতোর টান বস্তু যখন বৃত্তের সর্বোচ্চ বিন্দুতে তখনকার টানের চাইতে
 (A) 6W বেশি হবে (B) 2W বেশি হবে (C) 3W বেশি হবে (D) W বেশি হবে।
35. স্থানু তরঙ্গের সুস্পন্দ বিন্দুতে নিম্নলিখিত রাশিগুলির মধ্যে কোনটির পরিবর্তন হয় ?
 (A) কেবলমাত্র ঘনত্বের (B) কেবলমাত্র চাপের
 (C) ঘনত্ব ও চাপ উভয়ের (D) চাপ বা ঘনত্ব কোনোটিই নয়।
36. নিম্নলিখিত রাশিগুলির মধ্যে কোনটি প্রগামী তরঙ্গ এবং স্থানুতরঙ্গের মধ্যে পার্থক্য বুঝিয়ে দেয় ?
 (A) বিস্তার (B) কম্পাঙ্ক (C) শক্তির পরিবহন (D) তরঙ্গের দশা।
37. একটি শব্দ উৎস 100 Hz কম্পাঙ্কের অপর একটি উৎসের সঙ্গে প্রতি সেকেন্ডে 5 টি স্বরকম্প তৈরি করে। ঐ শব্দ উৎসের দ্বিতীয় সমমেল 215 Hz কম্পাঙ্কের একটি উৎসের সঙ্গে প্রতি সেকেন্ডে 5 টি স্বরকম্প তৈরি করে। শব্দ উৎসের কম্পাঙ্ক হবে
 (A) 105 Hz (B) 205 Hz (C) 95 Hz (D) 262 Hz.
38. কোনো মাধ্যমে তরঙ্গের সমীকরণ $y(x,t) = 0.02 \cos(50\pi t + \frac{\pi}{2})$ যেখানে x এবং y মিটারে এবং t সেকেন্ডে পরিমাপ করা হয়েছে।
 (A) $x = 0.15 \text{ m}$ অবস্থানে একটি নিম্পন্দ বিন্দু পাওয়া যাবে,
 (B) $x = 0.3 \text{ m}$ অবস্থানে একটি সুস্পন্দ বিন্দু পাওয়া যাবে,
 (C) তরঙ্গদৈর্ঘ্য হবে 0.2m,
 (D) সবকিছু ঠিক।
39. দুটি তড়িৎপ্রস্তু বস্তুর ভিতর একটি কাচ প্লেট ঢোকালে তাদের ভিতর বল
 (A) বৃদ্ধি পায় (B) হ্রাস পায় (C) একই থাকে (D) শূন্য হয়।
40. পৃথিবী অপেক্ষা সূর্য 330 গুণ ভারী এবং ব্যাসার্ধ 100 গুণ বেশি। ফলে সূর্যের গড় ঘনত্ব পৃথিবীর গড় ঘনত্ব অপেক্ষা হবে
 (A) 3.3 গুণ (B) 3.3×10^{-4} গুণ (C) 3.3×10^{-6} গুণ (D) 3.3×10^{-2} গুণ।
41. 2 cm বাতায়ুক্ত একটি বর্গক্ষেত্র ABCD-এর চার কোণায় 2esu, 8 esu এবং 5esu এবং -10 esu আধান রাখা আছে। বর্গক্ষেত্রের কেন্দ্রবিন্দুতে বিভব হবে
 (A) $\frac{5}{\sqrt{2}}$ esu (B) $10\sqrt{2}$ esu (C) $\frac{4.5}{\sqrt{2}}$ esu (D) $-10\sqrt{2}$ esu.

42. $2\mu F$ এবং $3\mu F$ ধারকত্বের দুটি ধারককে শ্রেণি সমবায়ে আবদ্ধ করে, তাদের সঙ্গে সমান্তরাল সমবায়ে $\frac{4}{5}\mu F$ ধারকত্বের আর একটি ধারক যুক্ত করা হল। সমবায়ের মোট ধারকত্ব হবে
 (A) $\frac{29}{20}\mu F$ (B) $\frac{20}{29}\mu F$ (C) $2\mu F$ (D) $1\mu F$.
43. 100V দ্বারা ত্বরান্বিত প্রোটনের দ্য ব্রয় তরঙ্গ দৈর্ঘ্য λ_0 । একইভাবে ত্বরান্বিত আলফাকণার দ্য ব্রয় তরঙ্গদৈর্ঘ্য হবে
 (A) λ_0 (B) $\frac{1}{2}\lambda_0$ (C) $\frac{\lambda_0}{2\sqrt{2}}$ (D) $\frac{1}{4}\lambda_0$.
44. r অভ্যন্তরীণ রোধ বিশিষ্ট একটি ব্যাটারির সঙ্গে পর পর r_1 এবং r_2 রোধযুক্ত দুটি তার যুক্ত করা হল। দুটি তারে একই সময়ে একই তাপ উৎপন্ন হলে,
 (A) $r = r_1 r_2$ (B) $r = \sqrt{r_1 r_2}$ (C) $r r_1 = r_2$ (D) $r_1 = \sqrt{r_2 r}$.
45. 100 volt সরবরাহ লাইনে পৃথক ভাবে যুক্ত করলে, দুটি বাতি যথাক্রমে 60 watt এবং 75 watt ক্ষমতা ব্যয় করে। বাতি দুটির রোধ হবে
 (A) $166\frac{2}{3}\Omega$; $133\frac{1}{3}\Omega$; (B) 160Ω , 140Ω
 (C) 120Ω , 180Ω (D) 100Ω , 200Ω .
46. একটি আলোকতড়িৎ পরীক্ষায় আপতিত আলোর তরঙ্গদৈর্ঘ্য 6000\AA থেকে কমিয়ে 4000\AA করা হল। আলোর তীব্রতা একই আছে। এতে
 (A) বিভবের ছেদ মান (cut-off) হ্রাস পাবে,
 (B) বিভবের ছেদমান বৃদ্ধি পাবে,
 (C) আলোকতড়িৎ প্রবাহমাত্রা বৃদ্ধি পাবে,
 (D) নির্গত ইলেকট্রনের শক্তি বৃদ্ধি পাবে।
47. একটি তাপযুগ্মে $\phi_i =$ উৎক্রম তাপমাত্রা $\phi_n =$ নিরপেক্ষ তাপমাত্রা এবং $\phi_c =$ শীতল সংযোগের তাপমাত্রা। তাহলে
 (A) $\phi_i + \phi_c = \phi_n$ (B) $\phi_i - \phi_c = \phi_n$
 (C) $\frac{\phi_i + \phi_c}{2} = \phi_n$ (D) $\phi_c - \phi_i = 2\phi_n$.
48. কুরি তাপমাত্রা সেই তাপমাত্রা বোঝায় যার বেশি তাপমাত্রায়
 (A) অয়স্টোম্বক পদার্থ পরাচুম্বকে পরিণত হয়,
 (B) পরাচৌম্বক পদার্থ তিরস্চৌম্বক পদার্থে পরিণত হয়,
 (C) অয়স্টোম্বক পদার্থ তিরস্চৌম্বক পদার্থে পরিণত হয়,
 (D) পরাচৌম্বক পদার্থ অয়স্টোম্বক পদার্থে পরিণত হয়।
49. একটি গ্যালভানোমিটার (G) 0.1 mA প্রবাহে পূর্ণ স্কেল বিক্ষেপ প্রদর্শন করে। এর রোধ 1000Ω । এই গ্যালভানোমিটারকে সর্বাধিক 10A পর্যন্ত প্রবাহমাত্রা পঠনক্ষম অ্যামিটারে পরিণত করতে হবে। এই উদ্দেশ্যে
 (A) 0.01Ω G-রে সাথে শ্রেণি সমবায়ে যুক্ত করতে হবে,
 (B) 0.01Ω G-এর সাথে সমান্তরাল সমবায়ে যুক্ত করতে হবে,
 (C) $10,000\Omega$ G-এর সমান্তরালে যুক্ত করতে হবে,
 (D) $10,000\Omega$ G-এর সাথে শ্রেণি সমবায়ে যুক্ত করতে হবে।

50 একটি তাম্র ভোল্টমিটারের ভিতরের প্রবাহ

(A) বাইরের প্রবাহের সমান

(B) বাইরের প্রবাহের দ্বিগুণ

(C) বাইরের প্রবাহের অর্ধেক

(D) CUSO_4 দ্রবণের গাঢ়ত্বের ওপর নির্ভর করে।

● SET 9 ●

1 যদি একটি সুযম দণ্ডের তাপমাত্রা Δt বৃদ্ধি করা যায় তবে তার দৈর্ঘ্যের সমান্তরাল এক অক্ষের সাপেক্ষে দণ্ডের জ্যাড্রামক (I)

(A) শূন্য

(B) $\propto \Delta t$ বৃদ্ধি পাবে

(C) $2\alpha I \Delta t$ বৃদ্ধি পাবে

(D) $3 \propto I \cdot \Delta t$ বৃদ্ধি পায়।

2 অক্সিজেন অণুর r.m.s গতিবেগ v । তাপমাত্রা দ্বিগুণ করলে এবং অক্সিজেন অণু ভেঙে অক্সিজেন পরমাণু হলে r.m.s. গতিবেগ হবে

(A) v

(B) $\sqrt{2} \cdot v$

(C) $2v$

(D) $4v$.

3 নিম্নলিখিত রাশিগুলির মধ্যে কোন্টি নির্দিষ্ট তাপমাত্রায় সকল গ্যাসের অণুর বেলায় সমান?

(A) ভর

(B) দ্রুতি

(C) ভরবেগ

(D) গতিশক্তি।

4 প্রমাণ চাপ ও তাপমাত্রায় 1000 cm^3 আদর্শ গ্যাসের ভর 0.177 g । গ্যাস অণুর r.m.s গতিবেগ

(A) 1000 ms^{-1}

(B) 1300 ms^{-1}

(C) 1500 ms^{-1}

(D) 150 ms^{-1} .

5 পিষ্টনযুক্ত একটি ধাতব চোঙে কিছু গ্যাস আবদ্ধ আছে। হঠাৎ পিষ্টনটি নামিয়ে গ্যাসকে সংকুচিত করা হল এবং পিষ্টনকে ঐ স্থানেই রেখে দেওয়া হল। যত সময় আতিবাহিত হবে তত গ্যাসের চাপ

(A) বৃদ্ধি পাবে

(B) হ্রাস পাবে

(C) একই থাকবে

(D) গ্যাসের প্রকৃতির ওপর নির্ভর করে বৃদ্ধি পেতে পারে বা হ্রাস পেতে পারে।

6 একটি দৃঢ় পাত্রে আবদ্ধ গ্যাসে 100 J তাপ সরবারহ করা হল। গ্যাসের অভ্যন্তরীণ শক্তির পরিবর্তন হবে

(A) 200 J

(B) 300 J

(C) 0

(D) 100 J .

7 একটি বুদ্ধতাপ প্রক্রিয়ায় কোনো গ্যাসের ($\gamma = 1.4$) চাপ 0.5% বৃদ্ধি করা হল। গ্যাসের আয়তন হ্রাস হবে,

(A) 0.36%

(B) 0.5%

(C) 0.7%

(D) 1%.

8 A এবং B দুটি বস্তুর তলক্ষেত্র সমান। তাদের তাপমাত্রা যথাক্রমে 10°C এবং 20°C । কোনো নির্দিষ্ট সময়ে A এবং B কর্তৃক বিকিরণ তাপের অনুপাত হবে

(A) 1 : 1.15

(B) 1 : 2

(C) 1 : 4

(D) 1.16.

9 কৃষ্ণ বস্তু

(A) বিকিরণ নির্গত করে না

(B) বিকিরণ শোষণ করে না

(C) বিকিরণ প্রতিফলন করে না

(D) বিকিরণ প্রতিসরণ করে না।

10 দুটি তড়ি্তাধানের ভিতরকার দূরত্ব বাড়ালে, তড়ি্তাধান দুটির তড়িৎ স্থিতিশক্তি

(A) বৃদ্ধি পায়

(B) হ্রাস পায়

(C) একই থাকে

(D) বৃদ্ধি পেতে পারে, আবার হ্রাস পেতে পারে।

- 11 একটি বিন্দু আধান কর্তৃক সৃষ্ট তড়িৎ ক্ষেত্রে একটি তড়িৎ-দ্বিমেরু রাখা হল।
 (A) দ্বিমেরুর উপর ক্রিয়ারত নীট বল শূন্য,
 (B) দ্বিমেরুর উপর ক্রিয়ারত নীট বল শূন্য হওয়া সম্ভব,
 (C) দ্বিমেরুর উপর ক্রিয়ারত টর্ক শূন্য,
 (D) দ্বিমেরু উপর ক্রিয়ারত টর্ক শূন্য হওয়া সম্ভব।
- 12 কোনো বিন্দুর তড়িৎ ক্ষেত্র E এবং তড়িৎ বিভব V হলে
 (A) V অবশ্যই শূন্য হবে যদি $E=0$ হয়,
 (B) E অবশ্যই শূন্য হবে যদি $V=0$ হয়,
 (C) V শূন্য হবে না যদি $E \neq 0$,
 (D) কোনোটিই নয়।
- 13 ঘর্ষণ দ্বারা কোনো বস্তুকে তড়িতাহিত করলে, বস্তুর ওজন
 (A) ঠিক ঠিক একই থাকে
 (B) সামান্য বৃদ্ধি পায়
 (C) সামান্য কমে যায়
 (D) সামান্য বাড়তে পারে বা কমেতে পারে।
- 14 দুটি তড়িতাধানের প্রত্যেকটির আধান $1.0C$; এদের ব্যবধান কি হলে, তাদের ভিতরকার বল 50 kg ওজনের সমান হবে?
 (A) $4 \times 10^3 \text{ m}$ (B) $5.0 \times 10^3 \text{ m}$ (C) $5.5 \times 10^3 \text{ m}$ (D) $4.3 \times 10^3 \text{ m}$.
- 15 $2.0 \times 10^{-8}C$ তড়িতাধান যুক্ত দুটি কণাকে একটি সুতো দ্বারা যুক্ত করা হল। সুতোটি 1 m দীর্ঘ।
 সুতোয় টান পড়বে $\left(\frac{1}{4\pi\epsilon_0} = 9 \times 10^9 \right)$
 (A) $3.6 \times 10^{-6}N$ (B) $4.6 \times 10^{-7}N$ (C) $3.6 \times 10^{-7}N$ (D) $10^{-7}N$.
- 16 নিম্নলিখিত উক্তিগুলির কোনটি ঠিক?
 (A) গসের সূত্র প্রযোজ্য হবে একমাত্র প্রতিসম আধান বণ্টনের ক্ষেত্রে,
 (B) গসের সূত্র প্রযোজ্য হবে, একমাত্র শূন্য মাধ্যমে অবস্থিত আধানের ক্ষেত্রে,
 (C) গসের সূত্রের সাহায্যে নির্ণীত তড়িৎক্ষেত্র একমাত্র গসীয় তলের অভ্যন্তরে অবস্থিত তড়িতাধানের জন্য,
 (D) আধানের দরুন বন্ধ তলক্ষেত্রের ভিতর দিয়ে তড়িৎ ফ্লাক্স একমাত্র উক্ত ক্ষেত্র কর্তৃক আবদ্ধ তড়িতাধানের জন্য।
- 17 দুই প্রান্ত দৃঢ় ভাবে আবদ্ধ টান করা একটি তার বিবেচনা কর। তারের টান দ্বিগুণ করলে এবং প্রস্থচ্ছেদের ক্ষেত্রফল অর্ধেক করলে, তারের কম্পাঙ্ক হবে
 (A) দ্বিগুণ (B) অর্ধেক (C) চতুর্গুণ (D) আটগুণ।
- 18 একমুখ বন্ধ একটি নল (P_1) প্রথম সম্মেল উৎপন্ন করে কম্পিত হচ্ছে। দুমুখ খোলা আর একটি নল (P_2) তৃতীয় সম্মেল উৎপন্ন করে কম্পিত হচ্ছে। এরা অনুনাদ সৃষ্টি করলে, P_1 এবং P_2 নলের দৈর্ঘ্যের অনুপাত হবে
 (A) $\frac{8}{3}$ (B) $\frac{3}{8}$ (C) $\frac{1}{2}$ (D) $\frac{1}{3}$.
- 19 এক মুখ বন্ধ দুটি আর্গান নল এক সঙ্গে মূলসুর উৎপন্ন করলে প্রতি সেকেন্ডে 5টি স্বরকম্প শোনা যায়। নল দুটির দৈর্ঘ্যের অনুপাত $50 : 51$ হলে তাদের মূল সুরের কম্পাঙ্ক হবে
 (A) 250, 255 (B) 255, 260 (C) 260, 265 (D) 265, 270.

20. একটি অন্তরিত সমান্তরাল প্লেট ধারকের প্লেটদুটির মধ্যে পরাবিদ্যুতের স্ল্যাব ঢোকালে ধারকের ধারকত্ব
(A) বাড়ে (B) কমে (C) একই থাকে (D) শূন্য হয়।
21. একটি সমান্তরাল প্লেট ধারককে ব্যাটারির সাথে যুক্ত করা হল। খুব পাতলা একটি ধাতব পাতকে প্লেট দুটির মাঝখানে প্লেট দুটির সমান্তরালভাবে বসানো হল। এতে
(A) ব্যাটারি আরও আধান সরবরাহ করবে,
(B) ধারকের ধারকত্ব বেড়ে যাবে,
(C) প্লেট দুটির ভিতর বিভব-পার্থক্য বেড়ে যাবে,
(D) ধাতব পাতের দুই পৃষ্ঠে সমান ও বিপরীত আধান আবিষ্ট হবে।
22. মনে কর, গোলাকার চাকতি ব্যবহার করে তুমি 1.0 ফারাড ধারকত্বের ধারক তৈরি করবে। দুটি চাকতির ব্যবধান 1.0 mm হলে, চাকতির ব্যাসার্ধ হবে
(A) 5 km (B) 6 km (C) 1 km (D) 0.1 km.
23. দুটি আলোক উৎস সুসঙ্গত (choerent) হবে যখন তাদের
(A) তীব্রতা সমান (B) গতিবেগ সমান (C) কম্পাঙ্ক সমান (D) তরঙ্গদৈর্ঘ্য সমান।
24. নিম্নলিখিত তরঙ্গগুলির মধ্যে কোনটি তির্যক?
(A) টানা দেওয়া তারের তরঙ্গ (B) গ্যাস মাধ্যমে শব্দ তরঙ্গ
(C) দৃশ্যমান আলোর তরঙ্গ (D) X-রশ্মি তরঙ্গ।
25. নিম্নলিখিতদের মধ্যে কোনটি তড়িৎ চুম্বকীয় তরঙ্গ সৃষ্টি করে?
(A) স্থির তড়ি়াধান (B) গতিশীল তড়ি়াধান
(C) ত্বরান্বিত তড়ি়াধান (D) আধানবিহীন কণা।
26. তড়িৎ চুম্বকীয় তরঙ্গের গতিবেগ সমান
(A) সকল তরঙ্গদৈর্ঘ্যের ক্ষেত্রে (B) সকল প্রকার মাধ্যমে
(C) সকল প্রকার তীব্রতার ক্ষেত্রে (D) সকল প্রকার কম্পাঙ্কের ক্ষেত্রে।
27. নিম্নলিখিতগুলির মধ্যে কোনটি তড়িৎ-চুম্বকীয় তরঙ্গ নয়?
(A) দৃশ্যমান আলোক তরঙ্গ (B) ইলেকট্রনের দ্য ব্রয় তরঙ্গ
(C) গ্যাসে শব্দ তরঙ্গ (D) X-রশ্মি তরঙ্গ।
28. যে বস্তু বহুমুখি যাবৎ তড়ি়াধান ধরে রাখবে তার আকার হওয়া উচিত
(A) আয়তক্ষেত্রিক (B) ত্রিভুজাকৃতি (C) গোলাকার (D) চোঙাকৃতি।
29. একটি নিরেট গোলাকার তড়িৎগ্রস্ত গোলকের (ব্যাসার্ধ = r) পৃষ্ঠ বরাবর ব্যাসের এক বিন্দু থেকে বিপরীত বিন্দুতে q তড়ি়াধান নিয়ে গেলে কৃত কার্য
(A) $2\pi r.q$ (B) $\pi r.q$ (C) $r.q$ (d) 0.
30. কোনো একটি তড়িৎ ক্ষেত্রে x -অক্ষ বরাবর তড়িৎ বিভব x -এর সঙ্গে $V(x) = 5 + 4x^2$ সমীকরণ অনুযায়ী সংশ্লিষ্ট।
(A) $x = 1$ এবং $x = 3$ বিন্দুদ্বয়ের ভিতর বিভব পার্থক্য = 32 V
(B) $x = 1$ m বিন্দুতে C তড়ি়াধানের উপর বল = 8N
(C) উক্ত বল + x অক্ষ বরাবর ক্রিয়া করে
(D) ওই অঞ্চলে x -অক্ষ বরাবর সুষম তড়িৎক্ষেত্র ক্রিয়া করে।
31. 0.33×10^{-7} কুলম্ব তড়ি়াধানকে একটি তড়িৎক্ষেত্রের কোনো বিন্দুতে রাখলে 10^{-3} N বল অনুভব করে। ঐ বিন্দুতে ক্ষেত্র প্রাবল্য হবে
(A) 400 volt m^{-1} (B) 330 volt m^{-1} (C) 300 volt m^{-1} (D) 0.

32. কোনো তড়িৎবর্তনীতে দুটি রোধ R এবং $2R$ শ্রেণি সমবায়ে আবদ্ধ আছে। R এবং $2R$ রোধে উৎপন্ন তাপশক্তির অনুপাত
(A) 1:2 (B) 2:1 (C) 1:4 (D) 4:1
33. উপরোক্ত প্রশ্নে রোধ দুটি সমান্তরাল সমবায়ে আবদ্ধ থাকলে, উৎপন্ন তাপশক্তির অনুপাত
(A) 1:2 (B) 2:1 (C) 1:4 (D) 4:1
34. পরাবৈদ্যুতিক উপাদান বিহীন একটি ধারককে $t = 0$ সময়ে একটি ব্যাটারির সাথে যুক্ত করা হল। সংযোগী তারের উপর একটি বিন্দু A এবং ধারকের প্লেটদুটির মাঝখানে একটি বিন্দু B বিবেচনা করো।
(A) A বিন্দুর ভিতর দিয়ে কোনো তড়িৎ প্রবাহ নেই,
(B) B বিন্দুর ভিতর দিয়ে কোনো তড়িৎ প্রবাহ নেই,
(C) চার্জ সম্পূর্ণ না হওয়া পর্যন্ত A বিন্দু দিয়ে তড়িৎ প্রবাহ যাবে,
(D) চার্জ সম্পূর্ণ না হওয়া পর্যন্ত B বিন্দু দিয়ে তড়িৎ প্রবাহ যাবে।
35. একটি ভোল্টমিটারের রোধ খুব উচ্চ হওয়া প্রয়োজন যাতে
(A) কুণ্ডলী খুব বেশি উত্তপ্ত না হয়,
(B) যন্ত্র খুব বেশি তড়িৎপ্রবাহ না নেয়,
(C) যন্ত্র উচ্চ বিভবপ্রভেদ মাপতে সক্ষম হয়,
(D) পরিমেষ বিভব-প্রভেদের বিশেষ কোনো পরিবর্তন না হয়।
36. বৈদ্যুতিক সুইচ অন করলে একটি কেটলির জল 15 মিনিটে ফুটতে শুরু করে। একই তড়িৎ উৎস ব্যবহার করে কেটলির জলকে 10 মিনিটে ফোটাতে হলে কেটলির কুণ্ডলীর তারের কি পরিবর্তন প্রয়োজন?
(A) দৈর্ঘ্য হ্রাস করতে হবে (B) দৈর্ঘ্য বৃদ্ধি করতে হবে
(C) কোনো পরিবর্তন প্রয়োজন নেই (D) কোনোটিই নয়।
37. দুটি বৈদ্যুতিক বাতির ফিলামেন্ট সমান দৈর্ঘ্যের টাংস্টেন তার দিয়ে তৈরি। একটির ক্ষমতা 60 watt এবং অন্যটির 100 watt
(A) 100 watt বাতির ফিলামেন্ট তার অপেক্ষাকৃত মোটা,
(B) 60 watt বাতির তার অপেক্ষাকৃত মোটা,
(C) দুটি ফিলামেন্ট তারই সমান মোটা,
(D) তার দুটির দৈর্ঘ্য সমান।
38. নিম্নলিখিত প্রক্রিয়াগুলির মধ্যে কোনটি অপ্রত্যাবর্তক (irreversible)
(A) জুল প্রক্রিয়া (B) পেলটিয়ার প্রক্রিয়া (C) সিবেক প্রক্রিয়া (D) টমসন প্রক্রিয়া
39. ফ্যারাডে কিসের একক?
(A) ধারকত্বের (B) তড়িতাধানের (C) তড়িৎপ্রবাহের (D) স্বাবেশ গুণাঙ্কের।
40. ফ্যারাডে ধ্রুবসংখ্যা নির্ভর করে
(A) তড়িদ্বিলেপ্যের পরিমাণের উপর,
(B) তড়িৎপ্রবাহের উপর,
(C) এটি একটি সর্বজনীন ধ্রুবসংখ্যা,
(D) তড়িদ্বিলেপ্যের ভিতর দিয়ে প্রবাহিত তড়িতাধানের উপর।
41. 220 volt সরবরাহ লাইনে একটি বৈদ্যুতিক বাল্ব রাখলে 60 W ক্ষমতা ব্যয় হয়। সরবরাহ হ্রাস পেয়ে 180 volt হলে ব্যয়িত ক্ষমতা হবে
(A) 40 watt (B) 50 watt (C) 30 watt (D) 35 watt.

42. একটি পিতলের প্লেটের এর পিঠের ক্ষেত্রফল 200cm^2 । প্লেটের উভয় পিঠে 0.1 mm পুরু রূপা জমাতে 15A প্রবাহমাত্রা ব্যবহার করা হল। এজন্য সময় লাগল (রূপার আঃ গুরুত্ব $= 10.5$ এবং পারমাণবিক ভর $= 107.9\text{ g mole}^{-1}$)
 (A) 40 মিনিট (B) 41 মিনিট (C) 42 মিনিট (D) এক ঘণ্টা।
43. সুতোয় বেঁধে একটি আহিত কণাকে ঘর্ষণবিহীন টেবিলের উপর অনুভূমিক বৃত্তাকার পথে ঘোরানো হচ্ছে। বৃত্তপথের উপর উল্লম্বভাবে একটি চৌম্বক ক্ষেত্র প্রয়োগ করলে, সুতোয় টান
 (A) বৃদ্ধি পাবে (B) হ্রাস পাবে
 (C) একই থাকবে (D) বাড়তে পারে, কমেও পারে।
44. 0.50 T মানের একটি চৌম্বক ক্ষেত্রের অভিলম্ব তলে 1m ব্যাসার্ধের বৃত্তপথে একটি ইলেকট্রন আবর্তন করছে। ইলেকট্রনের দ্রুতি হবে
 (A) $10 \times 10^{10}\text{ ms}^{-1}$ (B) $8 \times 10^{10}\text{ ms}^{-1}$ (C) $8.8 \times 10^{10}\text{ ms}^{-1}$ (D) $8 \times 10^9\text{ ms}^{-1}$ ।
45. 2m বাহুযুক্ত একটি তারের বর্গাকৃতি ফ্রেমে 2A তড়িৎপ্রবাহ যাচ্ছে। একই প্রবাহ 2m পরিধির একটি বৃত্তাকার কুণ্ডলী দিয়েও যাচ্ছে। কুণ্ডলীর কেন্দ্রে এবং ফ্রেমের কেন্দ্রে উৎপন্ন চৌম্বক ক্ষেত্রের প্রাবল্যের অনুপাত
 (A) $\frac{32}{\pi^2}$ (B) $\frac{\pi^2}{8\sqrt{2}}$ (C) $\frac{8\sqrt{2}}{\pi^2}$ (D) $\left(\frac{\pi}{3}\right)^2$
46. চৌম্বক ক্ষেত্রে কোনো পরিবাহীকে স্থানান্তর করিয়ে তড়িচ্চালক বল আবিষ্ট করা হয় আবার পরিবাহীর উপর চৌম্বক ক্ষেত্রের পরিবর্তন করে তড়িচ্চালক বল আবিষ্ট করা যায়।
 (A) উভয় উক্তিই নির্ভুল (B) প্রথমটি নির্ভুল কিন্তু দ্বিতীয়টি ভুল
 (C) প্রথমটি ভুল কিন্তু দ্বিতীয়টি নির্ভুল (D) দুটি উক্তিই ভুল।
47. একটি খাড়া উল্লম্ব তারে উর্ধ্বমুখী তড়িৎপ্রবাহ যাচ্ছে। একটি ইলেকট্রনকে অনুভূমিক ভাবে তারের দিকে পাঠানো হল। তারটি
 (A) ডান দিকে বিক্ষিপ্ত হবে (B) বাঁ দিকে বিক্ষিপ্ত হবে
 (C) উপরের দিকে বিক্ষিপ্ত হবে (D) নীচের দিকে বিক্ষিপ্ত হবে
48. I দৈর্ঘ্যের একটি পরিবাহী দণ্ড \vec{v} স্থির বেগ নিয়ে B চৌম্বক ক্ষেত্রে গতিশীল। দণ্ডের দুই প্রান্তের ভিতর বিভব-প্রভেদ আবিষ্ট হবে যদি
 (A) $\vec{v} \parallel \vec{I}$ হয় (B) $\vec{v} \parallel \vec{B}$ হয় (C) $\vec{I} \parallel \vec{B}$ হয় (D) কোনোটিই নয়।
49. কোন্ ক্ষেত্রে ধারক অসীম রোধের সৃষ্টি করে?
 (A) D.C. (B) A.C.
 (C) D.C এবং A.C (D) D.C বা A.C কোনো ক্ষেত্রেই নয়।
50. v গতিবেগ নিয়ে একটি হাইড্রোজেন পরমাণু $12.2 \times 10^{-8}\text{ m}$ তরঙ্গদৈর্ঘ্যের একটি ফোটনকে শোষণ করলে পরমাণুর গতি স্তব্ধ হল। v এর মান হবে (হাইড্রোজেন পরমাণুর ভর $= 1.67 \times 10^{-27}\text{ kg}$)
 (A) 3.0 ms^{-1} (B) 3.5 ms^{-1} (C) 3.25 ms^{-1} (D) 4 ms^{-1} ।

[Hints : ফোটনের রৈখিক ভরবেগ $= \frac{h}{\lambda} = \frac{6.63 \times 10^{-34}}{12.2 \times 10^{-8}} = 5.43 \times 10^{-27}\text{ kgm/s}$

ভরবেগ সংরক্ষণ সূত্রানুযায়ী $(1.67 \times 10^{-27})v = 5.43 \times 10^{-27}$]

❁ SET 10 ❁

1. M ভরের এবং e তড়িতাধানযুক্ত একটি ইলেকট্রন স্থিরাবস্থা থেকে শুরু করে V ভোল্ট বিভব-প্রভেদের ভিতর দিয়ে চলে গেল। ইলেকট্রনের চূড়ান্ত শক্তি এবং গতিবেগ হবে
 (A) MeV ; $2MV \sqrt{e} \text{ ms}^{-1}$ (B) eV ; $\sqrt{2} \sqrt{MeV} \text{ ms}^{-1}$
 (C) $\frac{e}{V} J$; $2 \frac{\sqrt{eV}}{M} \text{ ms}^{-1}$ (D) eV ; $\frac{\sqrt{2eV}}{M} \text{ ms}^{-1}$
2. চারটি অর্ধায়ু পরে কোন তেজস্ক্রিয় পদার্থের কতটা অবিঘটিত থাকবে?
 (A) 5% (B) 6% (C) 6.25% (D) 7%
3. একটি উষ্ণ বস্তু খুব দ্রুত তাপ বিকিরণ করবে যদি তার পৃষ্ঠ
 (A) সাদা এবং পালিশ করা থাকে (B) সাদা এবং অমসৃণ হয়
 (C) কালো এবং পালিশ করা থাকে (D) কালো এবং অমসৃণ হয়।
4. যখন ধাতব টার্গেটকে 40 keV ইলেকট্রন আঘাত করে তখন সর্বাপেক্ষা শক্তিশালী যে X-রশ্মি নির্গত হয় তার তরঙ্গদৈর্ঘ্য
 (A) 10 \AA (B) 30 \AA (C) 4 \AA (D) 0.31 \AA
5. কোন তেজস্ক্রিয় পদার্থের অর্ধায়ু নির্ভর করে
 (A) চাপের উপর (B) উষ্ণতার উপর
 (C) রাসায়নিক পরিবেশের উপর (D) কোনটিই নয়।
6. কোন তেজস্ক্রিয় পদার্থের অর্ধায়ু 1000 সেকেন্ড। তার বিঘটন ধ্রুবক
 (A) $6.93 \times 10^2 \text{ s}^{-1}$ (B) $6.93 \times 10^{-4} \text{ s}^{-1}$ (C) $6.93 \times 10^{-4} \text{ s}^{-1}$ (D) $6.93 \times 10^3 \text{ s}$
7. প্রমাণ চাপ ও তাপমাত্রায় তড়িবিদ্বেষণের সাহায্যে 112 cm^3 হাইড্রোজেন গ্যাস মুক্ত করতে যে পরিমাণ তড়িতাধান প্রয়োজন তা
 (A) 0.1 ফ্যারাডে (B) 96500 কুলম্ব (C) 965 কুলম্ব (D) 1 ফ্যারাডে।
8. হাইড্রোজেন পরমাণুর ইলেকট্রন যখন উচ্চতর শক্তির কক্ষপথ থেকে L কক্ষপথে সংক্রমণ করে তখন আমরা এক শ্রেণির বর্ণালী পাই। এই শ্রেণিকে বলা হয়
 (A) ব্র্যাকেট শ্রেণি (B) পাশেন শ্রেণি (C) বামার শ্রেণি (D) লাইম্যান শ্রেণি।
9. পৃথিবী পৃষ্ঠে মুক্তি বেগের মান v_e ; পৃথিবীর দ্বিগুণ ভর এবং তিনগুণ ব্যাসার্ধের কোনো গ্রহপৃষ্ঠে মুক্তি বেগ হবে
 (A) $\sqrt{\frac{3}{2}} \cdot v_e$ (B) $\sqrt{\frac{2}{3}} \cdot v_e$ (C) $\frac{2}{\sqrt{3}} v_e$ (D) $\frac{\sqrt{3}}{2} v_e$
10. দুটি দীর্ঘ সমান্তরাল পরিবাহী তারে বিপরীত দিকে তড়িৎ প্রবাহ হলে, তার দুটি পরস্পরকে
 (A) আকর্ষণ করে (B) বিকর্ষণ করে
 (C) আকর্ষণ বা বিকর্ষণ করে না (D) তড়িচ্চালক বল আবিষ্ট করে।
11. কোন ধাতুর আলোকতড়িৎ কার্য অপেক্ষা 2.0 eV হলে, ঐ ধাতুর ক্ষেত্রে সূচনা তরঙ্গদৈর্ঘ্যের মান হবে
 (A) 6200 \AA (B) 6000 \AA (C) 5700 \AA (D) 5900 \AA

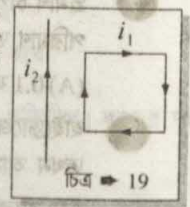
12. 150 kV বিভব-প্রভেদে কার্যরত একটি X-ray নল 10 mA প্রবাহ নেয়। নলের টার্গেট বস্তুটির ভর 0.3 kg এবং আপেক্ষিক তাপ $148.5 \text{ kJ kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$ । সরবরাহ করা বৈদ্যুতিক ক্ষমতার 1% X-ray-তে রূপান্তরিত হয় এবং বাকি শক্তি সম্পূর্ণরূপে টার্গেটকে উত্তপ্ত করতে ব্যয়িত হয়। তাহলে,
- (A) টার্গেটের গড় তাপমাত্রা বৃদ্ধি হবে 33 K s^{-1}
 (B) নির্গত X-রশ্মির ভিতর ন্যূনতম তরঙ্গদৈর্ঘ্য হবে 0.08 \AA
 (C) টার্গেটে উত্তপ্ত করণের হার হবে 1485 Js^{-1}
 (D) সব কটি ঠিক।

13. সুতোয় বাঁধা 0.1 kg ভরের একটি বলকে মসৃণ টেবিলের উপর 1 m ব্যাসার্ধের অনুভূমিক বৃত্তপথে 1 ms^{-1} স্থির বেগে ঘোরানো হচ্ছে। সুতোর মুক্ত প্রান্ত টেবিলের একটি ছিদ্র দিয়ে নীচে ঝুলছে। সুতোটি টেনে বৃত্তের ব্যাসার্ধ 0.5 m করা হলে
- (A) বলের নতুন বেগ হবে 2 ms^{-1} (B) বলের নতুন বেগ হবে 1 ms^{-1}
 (C) সুতোর টান হবে 0.3 N (D) টান হবে 1.6 N

14. $2.5 \times 10^{-4} \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$ তাপ পরিবাহিতাঙ্ক যুক্ত উপাদানে গঠিত একটি বন্ধ প্রকোষ্ঠের দৈর্ঘ্য $l = 1 \text{ m}$; প্রস্থ $b = 0.5 \text{ m}$; উচ্চতা $h = 0.5 \text{ m}$ । দেওয়াল $1 \times 10^{-5} \text{ m}$ পুরু। প্রকোষ্ঠের ভিতর একটি হিটার কুণ্ডলী রেখে ভিতরের তাপমাত্রা 40°C স্থির রাখতে হবে। হিটার কুণ্ডলী 100 V বিভব-প্রভেদে যুক্ত। প্রকোষ্ঠের বাইরের তাপমাত্রা 20°C হলে, হিটার কুণ্ডলীর রোধ হবে
- (A) $2 \text{ k}\Omega$ (B) $4 \text{ k}\Omega$ (C) $8 \text{ k}\Omega$ (D) $5 \text{ k}\Omega$

15. C^{12} পরমাণুর ক্ষেত্রে নিউক্লিয়ন প্রতি বন্ধনশক্তি $= E_1$ এবং C^{13} এর বেলায় $= E_2$ । C^{13} থেকে একটি নিউট্রন অপসারণ করতে প্রয়োজনীয় শক্তি
- (A) $E_2 - E_1$ (B) $13 E_2 - 12 E_1$ (C) $12(E_2 - E_1)$ (D) একটাও না।
- [Hints : C^{12} এর মোট বন্ধন শক্তি $= E_1 \times 12 = 12 E_1$; C^{13} এর মোট বন্ধন শক্তি $= E_2 \times 13 = 13 E_2$ \therefore প্রয়োজনীয় শক্তি $= 13 E_2 - 12 E_1$]

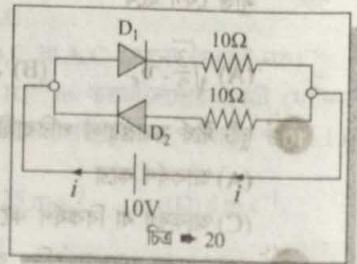
16. আয়তাকার একটি তারের লুপে i_1 প্রবাহ যাচ্ছে। লুপটিকে i_2 প্রবাহী ঝাড়ু এবং দীর্ঘ তারের কাছে রাখা হল এবং তারটি লুপের একটি বাহুর সমান্তরাল (চিত্র 19)। এ অবস্থায় তারের লুপটি



- (A) ঝাড়ু তার থেকে দূরে সরে যাবে
 (B) ঝাড়ু তারের দিকে এগিয়ে যাবে
 (C) একই জায়গায় থাকবে
 (D) ঝাড়ু তারের সমান্তরাল এক অক্ষের চতুর্দিকে ঘুরবে।

17. 20 নং চিত্রে প্রদর্শিত বর্তনীতে তড়িৎ প্রবাহ i এর মান

- (A) 2 A (B) 1 A
 (C) 0 (D) 0.5 A



18. $X^a \rightarrow Y^b$ এই বিঘটনে যে সংখ্যক β কণা নির্গত হবে তা

- (A) $\frac{a-b}{4}$ (B) $d + \frac{a-b}{2} + c$

- (C) $d + \frac{a-b}{2} - c$ (D) $2c - d + a - b$

[Hints : ${}_zX^A \rightarrow {}_{z_1}Y^{A_1}$ ${}_cX^a \rightarrow {}_dY^b$; $\alpha = \frac{A - A_1}{4}$; $\alpha = \frac{a - b}{4}$

$\beta = z_1 + 2d - z$; $\beta = d + 2$ $\frac{a-b}{4} - c = d + \frac{a-b}{2} - c$

- 19 298 K উষ্ণতায় নাইট্রোজেন অণুর r.m.s. গতিবেগ 5.15 ms^{-1} হলে, যে উষ্ণতায় গতিবেগ হবে 10.30 ms^{-1} তা
(A) 149 K (B) 172.6 K (C) 596 K (D) 1192 K.
- 20 দুটি বস্তুর নিজস্ব ঘূর্ণাঙ্ক বরাবর জাড্য ভ্রামকের অনুপাত 1 : 2। তাদের আবর্ত গতি সমান। বস্তু দুটির কৌণিক ভরবেগের অনুপাত
(A) 1 : 2 (B) 1 : $\sqrt{2}$ (C) 2 : 1 (D) $\sqrt{2}$: 1.
- 21 দুই প্রান্তে দৃঢ়ভাবে আবদ্ধ টানা দেওয়া তারের যে-কোনো প্রান্ত থেকে তার দৈর্ঘ্যের $\frac{1}{4}$ অংশ দূরে আঘাত করলে উৎপন্ন সুরটি হবে
(A) প্রথম সমমেল (B) তৃতীয় সমমেল (C) দ্বিতীয় সমমেল (D) চতুর্থ সমমেল।
- 22 0.4 m দীর্ঘ একটি ঋজু পরিবাহী 7 ms^{-1} বেগে 0.9 Wbm^{-2} চৌম্বক ক্ষেত্রের সঙ্গে সমকোণে গতিশীল হলে তাতে আবিষ্ট তড়িচ্চালক বলের মান হয়
(A) 2.52 volt (B) 5.04 volt (C) 25.2 volt (D) 1.26 volt.
- 23 কোন দশমিক সংখ্যা 23 হলে, দিক সংখ্যাটি হবে
(A) 11011 (B) 10111 (C) 111011 (D) 1101.
- 24 $(111011)_2$ দিক সংখ্যাকে দশমিক সংখ্যায় রূপান্তরিত করলে, সংখ্যাটি হবে
(A) 57 (B) 58 (C) 59 (D) 61.
- 25 P-N জংশনের যে অঞ্চলে স্বাধীন ইলেকট্রন বা গহ্বর থাকে না, তাকে বলা হয়
(A) নিঃশেষিত অঞ্চল (B) P-অঞ্চল (C) N-অঞ্চল (D) জংশান।
- 26 ট্রানজিস্টরের যে-অঞ্চল সবচেয়ে কম ডোপ করা থাকে সেটি হল
(A) নিঃসারক (B) সংগ্রাহক (C) ভূমি (D) কোনোটিই না।
- 27 +5 esu এবং -15 esu তড়িৎআধানবিশিষ্ট দুটি ক্ষুদ্র ধাতব বস্তুকে পরস্পরের কাছে এনে স্পর্শ করানো হল ; পরে তাদের আগের মতো ব্যবস্থানে রাখা হল। দুই ক্ষেত্রে কার্যরত দুই বলের অনুপাত হবে
(A) 1 : 3 (B) 1 : 9 (C) -3 : 1 (D) -9 : 1.
- 28 একটি সমান্তরাল প্লেট বায়ু ধারকের ধারকত্ব 10^{-12} F ; ধারকের প্লেট দুটিকে সরিয়ে ব্যবধান দ্বিগুণ করা হল এবং তাদের অভ্যন্তরস্থ জায়গা 4.0 পরাবৈদ্যুতিক ধ্রুবক সম্পন্ন উপাদানে ভর্তি করা হল। ধারকের বর্তমান ধারকত্ব
(A) $4 \times 10^{-12} \text{ F}$ (B) $3 \times 10^{-12} \text{ F}$ (C) $2 \times 10^{-12} \text{ F}$ (D) $0.5 \times 10^{-12} \text{ F}$.
- 29 গোলায় কৃষ্ণ বস্তু কর্তৃক বিকীর্ণ শক্তি দ্বিগুণ হবে যদি এর
(A) ব্যাসার্ধ প্রায় 41.5% বৃদ্ধি করা হয় (B) ব্যাসার্ধ দ্বিগুণ করা হয়
(C) তাপমাত্রা প্রায় 19% বৃদ্ধি করা হয় (D) A এবং C উত্তি দুটি সঠিক।
- 30 একটি হাইড্রোজেন সদৃশ পরমাণুর ভৌমস্তরে বন্ধন শক্তি 122.4 eV। তাহলে পরমাণুটির পারমাণবিক সংখ্যা
(A) 3 (B) 2 (C) 4 (D) কোনোটিই নয়।

31. N-type অর্ধপরিবাহী পাওয়া যায়
 (A) জার্মেনিয়ামকে আর্সেনিক ডোপ করলে,
 (B) জার্মেনিয়ামকে ইন্ডিয়াম ডোপ করলে,
 (C) জার্মেনিয়ামকে অ্যালুমিনিয়াম ডোপ করলে,
 (D) সিলিকনকে ইন্ডিয়াম ডোপ করলে।
32. নিউক্লিয় রিয়াক্টরে
 (A) ক্যাডমিয়াম দণ্ড ব্যবহার করা হয় শৃঙ্খল বিক্রিয়া চালু রাখতে,
 (B) পুর কংক্রীট দেওয়াল ব্যবহার করা হয় নিউট্রনের গতি মন্দীভূত করতে,
 (C) সাধারণ জল রিয়াক্টরের সক্রিয়তা পরিবর্তন করে,
 (D) জ্বালানি রূপে ব্যবহৃত হয় প্রাকৃতিক ইউরেনিয়াম।
33. পরমাণুর নিউক্লিয়াসের চতুর্দিকে বৃত্তাকার পথে পরিভ্রমণ রত ইলেকট্রনের
 (A) চৌম্বক দ্বিমেরু ভ্রামক আছে,
 (B) নিউক্লিয়াসের উপর যে বল প্রযুক্ত হয় নিউক্লিয়াস ইলেকট্রনের উপর একই বল প্রয়োগ করে,
 (C) নিউক্লিয়াসে চৌম্বক আবেশ সৃষ্টি হয়,
 (D) সব কটি ঠিক।
34. M ভরের এবং R ব্যাসার্ধের একটি ফাঁপা গোলক ω কৌণিক কম্পাঙ্ক নিয়ে ঘুরছে। হঠাৎ গোলকের আবর্তন বন্ধ হলে, তার গতিশক্তির 75% তাপ শক্তিতে পরিণত হল। গোলকের উপাদানের আপেক্ষিক তাপ $s \text{ JK}^{-1}$ হলে, গোলকের তাপমাত্রা বৃদ্ধি হবে
 (A) $\frac{R^2 \omega^2}{4.s}$ (B) $\frac{3R^2 \cdot \omega^2}{20.s}$ (C) $\frac{R^2 \omega^2}{2.s}$ (D) $\frac{2R^2 \omega^2}{3.s}$
- [Hints : K.E. = $\frac{1}{2} \times \frac{2}{3} MR^2 \omega^2$; এখন $Q = \frac{75}{100} \times \frac{1}{3} MR^2 \omega^2 = \frac{1}{4} MR^2 \omega^2$
 আবার, $Q = M.S.\Delta t$; $\therefore \Delta t = \frac{Q}{M.S} = \frac{MR^2 \omega^2}{4MS} = \frac{R^2 \omega^2}{4.S}$ ।]
35. ভূপৃষ্ঠ থেকে মুক্তিবৈগ 11.2 kms^{-1} । কোনো বস্তুকে উল্লম্বের সঙ্গে 45° কোণে উৎক্ষেপ করলে মুক্তিবৈগ হবে
 (A) $11.2 \times 2 \text{ kms}^{-1}$ (B) 11.2 kms^{-1}
 (C) $\frac{11.2}{\sqrt{2}} \text{ kms}^{-1}$ (D) $11.2 \times \sqrt{2} \text{ kms}^{-1}$
36. একটি শব্দ উৎস ও একজন পর্যবেক্ষক পরস্পরের দিকে 40 ms^{-1} বেগে এগিয়ে আসছে। উৎস কর্তৃক উৎপন্ন একটি শব্দের আপাত কম্পাঙ্ক 400 Hz । শব্দের প্রকৃত কম্পাঙ্ক (বায়ুতে শব্দের গতিবেগ = 360 ms^{-1})
 (A) 320 (B) 400 (C) 360 (D) 420.
37. সনোমিটার তারের কম্পমান অংশের দৈর্ঘ্য 1% বৃদ্ধি করলে কম্পাঙ্কের শতকরা পরিবর্তন হবে
 (A) 2 (B) 1 (C) $\frac{100}{101}$ (D) $\frac{99}{100}$

38. C_1, C_2, C_3 ধারকত্বের তিনটি ধারককে সমান্তরাল সমবায়ে যুক্ত করলে মোট ধারকত্ব হয় 12 F ; $C_1, C_2, C_3 = 48\text{ F}$ । যখন C_1 এবং C_2 ধারকদ্বয়কে সমান্তরালে যুক্ত করা হয়, তখন মোট ধারকত্ব হয় 6 F । তাহলে, C_1, C_2 এবং C_3 এর মান হবে

(A) 2, 4, 6 (B) 1, 5, 6 (C) 1.5, 2.5, 8 (D) 2, 3, 7.

39. 0.3 m দীর্ঘ একটি তারের সাথে 10 kg ভরযুক্ত একটি বস্তু আটকানো হল। তারটির উপাদানের অসহ ভার $4.8 \times 10^7\text{ Nm}^{-2}$ । তারের প্রস্থচ্ছেদ 10^{-6} m^2 । সুতো না ছিঁড়ে সর্বোচ্চ কত কৌণিক বেগে বস্তুকে অনুভূমিক বৃত্তপথে ঘোরানো যাবে ?

(A) 4 rad s^{-1} (B) 8 rad s^{-1} (C) 16 rad s^{-1} (D) 32 rad s^{-1} .

40. স্থির তাপমাত্রায় একটি পাত্রে A এবং B দুটি গ্যাসের মিশ্রণ রাখা আছে। A গ্যাস দ্বি-পরমাণুর এবং B এক পরমাণুক। A এবং B গ্যাসের আণবিক ভরের অনুপাত 4; A এবং B-এর r.m.s. গতিবেগের অনুপাত হবে

(A) 1:1 (B) $1:\sqrt{2}$ (C) $\sqrt{2}:1$ (D) 1:2.

[Hints : r.m.s. গতিবেগ গ্যাসের পারমাণবিকতার উপর নির্ভর করে না]

41. স্থির আয়তনে 5 মোল গ্যাসের তাপমাত্রা 100°C থেকে 120°C করা হল। গ্যাসের অভ্যন্তরীণ শক্তির পরিবর্তন দেখা গেল 80 joule । স্থির আয়তনে গ্যাসের মোট আপেক্ষিক তাপ হবে

(A) 8 joule K^{-1} (B) 0.8 joule K^{-1} (C) 4.0 joule K^{-1} (D) 0.4 joule K^{-1} .

[Hints : তাপগতিবিদ্যার প্রথম সূত্র থেকে পাই $\Delta U = \Delta Q - \Delta W$ অথবা $\Delta Q = \Delta U + \Delta W = \Delta U + P \cdot \Delta V = \Delta U$ ($\therefore \Delta V = 0$); $\therefore \Delta Q = \Delta U = 80\text{ J}$. এখন আপেক্ষিক তাপ =

$$\frac{\Delta Q}{\Delta T} = \frac{80}{20} = 4\text{ J K}^{-1}]$$

42. দুটি সমকেন্দ্রিক ফাঁপা গোলকে Q তড়িৎআধান এরূপভাবে বন্টন করা হল যে তাদের আধানের তলমাত্রিক ঘনত্ব সমান। কেন্দ্রে বিভব হবে (গোলকদুটির ব্যাসার্ধ R এবং r; $R > r$)

(A) $\frac{Q(R+r^2)}{4\pi\epsilon_0(R+r)}$

(B) $\frac{Q}{R+r}$

(C) শূন্য

(D) $\frac{Q(R+r)}{4\pi\epsilon_0(R^2+r^2)}$

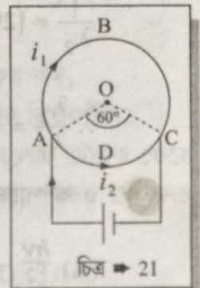
43. একটি সমান্তরাল প্লেট ধারককে V বিভবপ্রভেদে আহিত করা হল। তারপর ব্যাটারি সংযোগ খুলে ধারকের প্লেট দুটির ব্যবধান বাড়ানো হল। এতে প্লেট দুটির বিভবপ্রভেদ

(A) হ্রাস পাবে (B) বৃদ্ধি পাবে (C) একই থাকবে (D) শূন্য হবে।

44. ABCD একটি গোলাকার তারকুণ্ডলীর A এবং C বিন্দুর ভিতর একটি কেশ যুক্ত আছে (চিত্র 21)। $\angle AOC = 60^\circ$ । ABC এবং ADC অংশের প্রবাহের দরুন কেন্দ্র বিন্দুতে চৌম্বক ক্ষেত্র যথাক্রমে B_1 এবং B_2 হলে,

$\frac{B_1}{B_2}$ অনুপাত হবে,

(A) 1 (B) 6 (C) $\frac{1}{5}$ (D) 5.



45. $100\ \Omega$ রোধযুক্ত একটি গ্যালভানোমিটারের সাথে শ্রেণি সমবায়ে R রোধ যুক্ত করলে, গ্যালভানোমিটারটি $0-V$ পাল্লার ভোল্টমিটার রূপে কাজ করে। যন্ত্রের পাল্লা দ্বিগুণ করতে R এর সঙ্গে শ্রেণি সমবায়ে $1000\ \Omega$ রোধ যুক্ত করতে হয়। R -এর মান
(A) $1000\ \Omega$ (B) $900\ \Omega$ (C) $1100\ \Omega$ (D) $800\ \Omega$.
46. তড়িৎ শক্তিকে যান্ত্রিক শক্তিতে রূপান্তরিত করার যন্ত্র
(A) জেনারেটর (B) ডায়নামো (C) মোটর (D) আবেশ কুণ্ডলী।
47. নিম্নলিখিত পদার্থগুলির মধ্যে কোন্টির চৌম্বক ভেদ্যতা নেগেটিভ এবং উচ্চমানের ?
(A) অয়স্টোম্বক পদার্থ (B) পরাচৌম্বক পদার্থ
(C) তিরস্টোম্বক পদার্থ (D) কোনোটিই না।
48. কোন কুণ্ডলীর সাথে জড়িত চৌম্বক ফ্লাক্স ϕ কুণ্ডলীর পাকসংখ্যার (n) সাথে কীভাবে সংশ্লিষ্ট ?
(A) $\phi \propto n^2$ (B) $\phi \propto n^{-2}$ (C) $\phi \propto n^{-1}$ (D) $\phi \propto n$.
49. দুটি পারস্পরিক অভিলম্ব তড়িৎক্ষেত্র $E = 6.6 \times 10^6\ \text{NC}^{-1}$ এবং চৌম্বকক্ষেত্র $B = 1.2\ \text{N/A.m}$ এর ভিতর দিয়ে একগুচ্ছ α -কণা বিচ্যুত না হয়ে সোজা চলে গেল। কণাগুলির বেগ
(A) $1.8 \times 10^5\ \text{ms}^{-1}$ (B) $5.5 \times 10^6\ \text{ms}^{-1}$ (C) $7.8 \times 10^6\ \text{ms}^{-1}$ (D) $1.1 \times 10^6\ \text{ms}^{-1}$.
50. একটি ধাতব পৃষ্ঠ থেকে নিম্নলিখিত অবস্থায় ইলেকট্রনের নির্গমনকে আলোকতড়িৎ ক্রিয়া বলা হয়
(A) যখন ধাতব পৃষ্ঠ উচ্চ তাপমাত্রায় উত্তপ্ত,
(B) উপযুক্ত গতিবেগ সহ ইলেকট্রন ধাতব পৃষ্ঠে আপতিত হয়,
(C) উপযুক্ত তরঙ্গদৈর্ঘ্যের আলো ধাতব পৃষ্ঠে আপতিত হয়,
(D) ধাতব পৃষ্ঠ শক্তিশালী চৌম্বক ক্ষেত্রে রাখলে।

SET - 11

1. যে মৌলের পারমাণবিক সংখ্যা 43, তার K_α বর্ণালী রেখার তরঙ্গদৈর্ঘ্য λ । যে মৌলের পারমাণবিক সংখ্যা 29, তার K_α বর্ণালী রেখার তরঙ্গদৈর্ঘ্য হবে

- (A) $\frac{43}{29}\lambda$ (B) $\frac{42}{28}\lambda$ (C) $\frac{9}{4}\lambda$ (D) $\frac{4}{9}\lambda$.

[Hints : $\frac{1}{\lambda_1} = (43)^2 \left(\frac{1}{1^2} - \frac{1}{5^2} \right) = (43)^2 \cdot \frac{24}{25} \dots (i) \ z=43; n_f=5$

$\frac{1}{\lambda_2} = (29)^2 \left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{4^2} \right) = (29)^2 \cdot \frac{15}{16} \dots (ii) \ z=29, n_f=4$

$\therefore \frac{\lambda_2}{\lambda_1} = \frac{24 \times 16}{25 \times 15} \times \left(\frac{43}{29} \right)^2 \text{ or } \lambda_2 = \frac{9}{4}\lambda.$

2. v কম্পাঙ্কের ফোটনের ভর

- (A) $\frac{hv}{c^2}$ (B) $\frac{hv^2}{c}$ (C) $\frac{hv}{c}$ (D) $\frac{h}{\lambda}$.

3. আলোকতড়িৎ পরীক্ষায় ফটো ইলেকট্রনের গতিশক্তি এবং আপতিত আলোর কম্পাঙ্কের ভিতর লেখচিত্র একটি সরল রেখা যার নতি (slope)
- (A) $\frac{h}{e}$ (B) h (C) কার্য অপেক্ষক (D) নিবৃত্তি বিভব।
4. আলোকতড়িৎের একটি পরীক্ষায় নিবৃত্তি বিভব $= V_s$ এবং নির্গত ইলেকট্রনের সর্বাধিক গতিবেগ $= v_{\max}$; এদুয়ের ভিতর সম্পর্ক
- (A) $V_s \propto v_{\max}$ (B) $V_s \propto \frac{1}{v_{\max}}$ (C) $V_s \propto \frac{1}{(v_{\max})^2}$ (D) $V_s \propto (v_{\max})^2$.
5. n_0 কম্পাঙ্কের একটি শব্দ উৎস যখন পশ্চাৎ দিকে গমনশীল শ্রোতার অভিমুখে অগ্রসর হয় তখন (বায়ুতে শব্দের গতিবেগ $= v_0$)
- (A) শ্রোতা n_0 কম্পাঙ্কের শব্দ শুনতে পাবে,
 (B) বায়ুতে শব্দ তরঙ্গের তরঙ্গদৈর্ঘ্য অবশ্যই $\frac{v_0}{n_0}$ অপেক্ষা কম হবে,
 (C) বায়ুতে শব্দ তরঙ্গের গতিবেগ হবে v_0 ,
 (D) সব কটি ঠিক।
6. উদ্দীপিত হাইড্রোজেন পরমাণুর ইলেকট্রনের উদ্দীপনার সর্বাধিক লেভেল n হলে, বামার শ্রেণির কটি বর্ণালী রেখা পাওয়া যাবে ?
- (A) $\frac{n(n-1)}{2}$ (B) $(n-2)$ (C) n^2-2 (D) $2n-1$.
7. তাপগতিবিদ্যায় সেই প্রক্রিয়াকে সম-আয়তন (isochronic process) বলা হয় যেখানে
- (A) চাপের কোনো পরিবর্তন হয় না (B) তাপের কোনো বিনিময় হয় না
 (C) আয়তনের কোনো পরিবর্তন হয় না (D) কোনো কার্য করা হয় না।
8. নিম্নলিখিত যৌগগুলির মধ্যে কোনটি পরাচৌম্বক ধর্ম বিশিষ্ট ?
- (A) N_2O_3 (B) N_2O_4 (C) N_2O (D) NO_2 .
9. নিম্নলিখিত উক্তিগুলির মধ্যে কোনটি ঠিক ?
- (A) সব সমস্থানিক তেজস্ক্রিয় (B) α -রশ্মি সর্বদা ঋণাত্মক তড়িৎগুণ
 (C) β -রশ্মি সর্বদা ধনাত্মক তড়িৎগুণ (D) γ -রশ্মির ভেদনক্ষমতা সর্বাপেক্ষা বেশি।
10. ভূপৃষ্ঠের নিকটবর্তী একটি বৃত্তাকার কক্ষপথে একটি কৃত্রিম উপগ্রহের গতিবেগ v_0 হলে এবং ভূপৃষ্ঠে মুক্তি বেগ v_e হলে এদের সম্পর্ক হবে
- (A) $v_0 = v_e$ (B) $v_e = 2 v_0$ (C) $v_e = \sqrt{2} \cdot v_0$ (D) $v_e = \sqrt{3} \cdot v_0$
11. আলোর তরঙ্গ তত্ত্ব অনুযায়ী আলোর গতিবেগ
- (A) মাধ্যমের উপর নির্ভর করে না, (B) ঘন মাধ্যমে অপেক্ষাকৃত কম,
 (C) লঘু মাধ্যমে অপেক্ষাকৃত বেশি, (D) মাধ্যমের বেধের ওপর নির্ভরশীল।
12. একটি চুম্বক দণ্ডের চৌম্বক ভ্রামক 1.936×10^{-5} । দণ্ডটিকে 9×10^3 প্রাবল্যের চৌম্বক ক্ষেত্রে বুলানো আছে। বুলন অক্ষ সাপেক্ষে দণ্ডের জাড্যভ্রামক 4×10^{-3} হলে, দণ্ডের দোলনের কম্পাঙ্ক হবে (সব S.I. এককে)
- (A) 1.05 s (B) 2.1 s (C) 5.2 s (D) 3.0 s.

- 13 একটি A.C. বর্তনীতে কোনো মুহূর্তে প্রদত্ত ভোল্টেজ এবং প্রবাহ যথাক্রমে $V = V_0 \sin(\omega t - 10^\circ)$ এবং $i = i_0 \sin(\omega t - 55^\circ)$ । এক্ষেত্রে ভোল্টেজ

(A) প্রবাহ অপেক্ষা 65° এগিয়ে (lead) (B) প্রবাহ অপেক্ষা 65° পিছিয়ে (lag)
(C) প্রবাহ অপেক্ষা 45° এগিয়ে (D) প্রবাহ অপেক্ষা 45° পিছিয়ে।

[Hints : $i = i_0 \sin(\omega t - 55^\circ)$; $V = V_0 \sin(\omega t - 10^\circ) = V_0 \sin(\omega t - 55^\circ + 45^\circ)$]

- 14 300 পাকের একটি চতুষ্কোণ কুণ্ডলীর ক্ষেত্রফল $25 \text{ cm} \times 10 \text{ cm}$ । কুণ্ডলীটি $4 \times 10^{-2} \text{ telsa}$ চৌম্বক ক্ষেত্রে স্থাপিত আছে। চৌম্বকক্ষেত্রের অভিলম্ব এক অক্ষের চতুর্দিকে কুণ্ডলী সেকেন্ডে 50 বার আবর্তন করলে, আবিষ্ট তড়িচ্চালক বলের শীর্ষমান হবে

(A) $3\pi \text{ volt}$ (B) $30\pi \text{ volt}$ (C) $300\pi \text{ volt}$ (D) $3000\pi \text{ volt}$.

[Hints : আবিষ্ট তড়িচ্চালক বলের শীর্ষমান $= B \omega A n$]

- 15 একটি কুণ্ডলীতে 0.1 সেকেন্ডে প্রবাহ মাত্রা 4A থেকে শূন্য হল। কুণ্ডলীতে আবিষ্ট তড়িচ্চালক বল 100 volt হলে কুণ্ডলীর স্বাবেশ গুণাঙ্ক হবে

(A) 4 H (B) 0.4 H (C) 2.5 H (D) 0.25 H.

- 16 দুই মুখ বন্ধ এবং আংশিক তরল পূর্ণ একটি নলকে একটি উল্লম্ব অক্ষ সাপেক্ষে অনুভূমিক বৃত্তপথে ঘোরানো হচ্ছে। অক্ষ নলের কেন্দ্রগত। এতে ওই অক্ষ সাপেক্ষে নলের জ্যাভ্রামক

(A) সর্বদা কমে যাবে
(B) একই থাকবে
(C) সর্বদা বেড়ে যাবে

(D) নলের অর্ধেক তরলপূর্ণ হলে বেড়ে যাবে, অন্যথায় কমে যাবে।

- 17 নিম্নলিখিত যন্ত্রগুলির মধ্যে কোনটির দ্বারা দুটি চুম্বক দণ্ডের ভ্রামক তুলনা করা যায় ?

(A) ভোল্টমিটার (B) অ্যামমিটার (C) ম্যাগনেটোমিটার (D) ভোল্টমিটার।

- 18 A এবং B দুটি শব্দ উৎস 680 Hz কম্পাঙ্কের শব্দ উৎপন্ন করছে। একজন শ্রোতা স্থির বেগ v নিয়ে A থেকে B এর দিকে যাচ্ছে। শ্রোতা সেকেন্ডে 10 টি স্বরকম্প শুনতে পেলে v -এর মান কী হবে? (বায়ুতে শব্দের বেগ $= 340 \text{ ms}^{-1}$)

(A) 2 ms^{-1} (B) 2.5 ms^{-1} (C) 3 ms^{-1} (D) 3.5 ms^{-1} .

- 19 একটি দণ্ডের উপাদানের ইয়ং গুণাঙ্ক $2 \times 10^{11} \text{ Nm}^{-2}$ এবং ঘনত্ব $8 \times 10^3 \text{ kgm}^{-3}$ । দণ্ডের 1m দৈর্ঘ্য অতিক্রম করতে শব্দের যে সময় লাগবে তা

(A) 10^{-4} s (B) $2 \times 10^{-4} \text{ s}$ (C) 10^{-2} s (D) $2 \times 10^{-2} \text{ s}$.

- 20 নিকেল-তামা তাপযুগ্মের এক সংযোগ 0°C এবং অপর সংযোগ 100°C উষ্ণতায় আছে। যুগ্মের $a = +16.2 \mu\text{V}^\circ\text{C}^{-1}$ এবং $b = -0.02 \mu\text{V}^\circ\text{C}^2$ । যুগ্মের নিরপেক্ষ তাপমাত্রা

(A) 324°C (B) 810°C (C) 405°C (D) একটাও না।

- 21 নিম্নলিখিত তরঙ্গগুলির মধ্যে কার তরঙ্গাদৈর্ঘ্য সব চাইতে কম ?

(A) অতি বেগুনি রশ্মি (B) অবলোহিত রশ্মি (C) এক্সরশ্মি (D) মাইক্রোওয়েভস।

- 22 একটি চুম্বক দণ্ডের ভ্রামক M এবং দণ্ডের মধ্যবিন্দু থেকে দূরত্ব d হলে, ট্যানজেন্ট-B অবস্থানে চৌম্বক ক্ষেত্র হবে,

(A) $H \cdot \tan \theta$ (B) $\frac{2M \cdot d}{(d^2 - l^2)^2}$ (C) $\frac{M}{(d^2 + l^2)^{\frac{3}{2}}}$ (D) কোনোটিই না।

- 23 m ভরের একটি বস্তু r ব্যাসার্ধের বৃত্তপথে ঘুরছে। বস্তুর অভিকেন্দ্র ত্বরণ $\frac{4}{r}$ । কণার ভরবেগ হবে
 (A) $\frac{2m}{r}$ (B) $\frac{2m}{\sqrt{r}}$ (C) $\frac{4m}{r}$ (D) $\frac{4m}{\sqrt{r}}$
- 24 আলোকতড়িৎ পরীক্ষায় একটি ক্ষেত্রে নিবৃত্তি বিভব হল 9 volt। ইলেকট্রনের $\frac{e}{m}$ অনুপাত $1.8 \times 10^{11} \text{ C kg}^{-1}$ হলে, নির্গত ইলেকট্রন সর্বাধিক গতিবেগ হবে
 (A) $6 \times 10^5 \text{ ms}^{-1}$ (B) $8 \times 10^5 \text{ ms}^{-1}$ (C) $10 \times 10^5 \text{ ms}^{-1}$ (D) $18 \times 10^5 \text{ ms}^{-1}$
- 25 হাইড্রোজেন পরমাণুর n^{th} কক্ষপথে ইলেকট্রনের শক্তি $E_n = -13.6/n^2 \text{ eV}$ । ইলেকট্রনের প্রথম কক্ষপথ থেকে দ্বিতীয় কক্ষপথে সংক্রমণের জন্য প্রয়োজনীয় শক্তি
 (A) 10.2 eV (B) 13.6 eV (C) 10.2 J (D) 13.6 J
- 26 ভর অপরিবর্তিত রেখে পৃথিবীর সাইজ অকস্মাৎ সংকুচিত হয়ে পূর্বের সাইজের $\frac{1}{n}$ হয়, তবে দিনের 'দৈর্ঘ্য' হবে
 (A) $\frac{24}{n}$ hours (B) $24n$ hours (C) $\frac{24}{n^2}$ hours (D) $24n^2$ hours.
- 27 একটি চৌম্বক মেরু থেকে 2 cm দূরে চৌম্বক ক্ষেত্র প্রাবল্য 0.2 orested। ঐ মেরুর দ্বিমেরু শ্রামক হবে
 (A) 8 cgs একক (B) 1 cgs একক (C) 1.8 cgs একক (D) 0.8 cgs একক
- 28 ঘরের তাপমাত্রায় একটি p -type অর্ধপরিবাহীতে
 (A) সম সংখ্যক স্বাধীন ইলেকট্রন ও গহ্বর থাকে
 (B) অনেক স্বাধীন ইলেকট্রন এবং সামান্য সংখ্যক গহ্বর থাকে
 (C) কম সংখ্যক স্বাধীন ইলেকট্রন কিন্তু বেশি সংখ্যক গহ্বর থাকে
 (D) ইলেকট্রন বা গহ্বর কিছুই থাকে না।
- 29 একটি ট্রানজিস্টারে $\alpha = 0.98$; β -র মান হবে
 (A) 0.5 (B) 2.0 (C) 0.02 (D) 49.
- 30 একটি সরল দোলকের কৌণিক বেগ এবং বিস্তার যথাক্রমে ω এবং a । মধ্য অবস্থান থেকে δ দূরে দোলকের গতিশক্তি = T এবং স্থিতিশক্তি = V । T এবং V এর অনুপাত হবে
 (A) $\frac{\delta^2}{a^2 - \delta^2}$ (B) $\frac{a^2 - \delta^2}{\delta^2}$ (C) $\frac{\delta^2 \omega^2}{a^2 - \delta^2 \omega^2}$ (D) $\frac{a^2 - \delta^2 \omega^2}{\delta^2 \omega^2}$
- [Hints : $T = \frac{1}{2} m \omega^2 (a^2 - \delta^2)$ এবং $V = \frac{1}{2} m \omega^2 \delta^2$]
- 31 200g ভরের একটি বল 5 mh^{-1} বেগে গতিশীল হলে তার সজো সংশ্লিষ্ট দ্য ব্রয় তরঙ্গদৈর্ঘ্য হবে
 (A) 10^{-10} m (B) 10^{-20} m (C) 10^{-30} m (D) 10^{-40} m পর্যায়ের।
- 32 তড়িৎচুম্বকীয় তরঙ্গো তরঙ্গের গতির অভিমুখ তড়িৎক্ষেত্র এবং চৌম্বকক্ষেত্রের সজো যে কোণে আনত থাকে তা
 (A) $90^\circ, 45^\circ$ (B) $45^\circ, 45^\circ$ (C) $90^\circ, 90^\circ$ (D) $45^\circ, 75^\circ$.
- 33 নিম্নলিখিত পদার্থগুলির মধ্যে কোনটি ত্রিস্চৌম্বক
 (A) তামা (B) লোহা (C) নিকেল (D) অ্যালুমিনিয়াম।

- 34 একটি আহিত ধারকের দুই প্লেটের মাঝে একটি তড়িৎগ্ৰস্ত কণা রাখলে তার উপর F বল ক্রিয়া করে। ধারকের একটি প্লেটকে সরিয়ে নিলে, ঐ কণার উপর বল হবে
 (A) 0 (B) $\frac{F}{2}$ (C) F (D) 2F
- 35 তড়িৎগ্ৰস্ত বন্ধ তলের ভিতর মোট অভিলম্ব আবেশ (normal induction) হবে
 (A) পৃষ্ঠস্থ মোট আধানের $\frac{4\pi}{Q}$ গুণ
 (B) বন্ধতলের অভ্যন্তরস্থ মোট আধানের 4π গুণ
 (C) পৃষ্ঠস্থ মোট আধানের 2π গুণ
 (D) বন্ধ তলের অভ্যন্তরস্থ মোট আধানের $\frac{2\pi}{Q}$ গুণ।
- 36 একটি সমান্তরাল প্লেট ধারকের দুই প্লেটের ব্যবধান t এবং ধারকত্ব $100\mu\text{F}$ । $\frac{t}{3}$ বেধের একটি ধাতব পাত প্লেট দুটির ভিতর প্রবেশ করালে, ধারকত্ব (μF এককে) হবে
 (A) 3×100 (B) $\frac{3}{2} \times 100$ (C) 100 (D) $\frac{2}{3} \times 100$
- 37 একটি ট্যানজেন্ট গ্যালভানোমিটারের তারকুণ্ডলীকে চৌম্বক মধ্যরেখায় রেখে প্রবাহ পাঠানো হল। কুণ্ডলীর কেন্দ্রে প্রবাহ কর্তৃক উৎপন্ন চৌম্বক ক্ষেত্র ভূচৌম্বক ক্ষেত্রের অনুভূমিক উপাংশের সমান হল। কুণ্ডলীর বিক্ষেপ
 (A) 0° (B) 30° (C) 45° (D) 60°
- 38 একটি তাপ যুগ্মের উৎক্রম তাপমাত্রা বলতে উষ্ণ সংযোগের সেই তাপমাত্রা বোঝায় যখন উৎপন্ন তাপীয় তড়িচ্চালক বল হয়
 (A) সর্বনিম্ন (B) সর্বাধিক (C) শূন্য (D) অসীম।
- 39 5F এবং 10F ধারকত্বের দুটি ধারককে শ্রেণি সমবায়ে যুক্ত করা হল। আবার 2F এবং 4F ধারকের অন্য দুটি ধারককেও পৃথকভাবে শ্রেণি সমবায়ে যুক্ত করা হল। এবার এই দুই সমবায়কে সমান্তরালে যুক্ত করলে মোট ধারকত্ব হবে
 (A) $\frac{13}{3} F$ (B) $\frac{14}{3} F$ (C) $\frac{3}{14} F$ (D) $\frac{3}{13} F$
- 40 অনুনাদী বায়ুস্তম্ভের এক পরীক্ষায় প্রথম তিনটি অনুনাদী দৈর্ঘ্য L_1, L_2 এবং L_3 । এদের ভিতর সম্পর্ক
 (A) $L_3 = 2L_2 = 4L_1$ (B) $L_3 = \frac{5}{3} L_2 = 5L_1$
 (C) $(L_3 - L_2) = (L_2 - L_1)$ (D) $(L_3 - L_2) = 2(L_2 - L_1)$
- 41 তিনটি সমান রোধের রোধককে শ্রেণি সমবায়ে যুক্ত করে তড়িচ্চালক বলের উৎসের সঙ্গে যুক্ত করলে, তারা মোট 10 watt ক্ষমতা ব্যয় করে। রোধক তিনটিকে সমান্তরালে লাগালে, (একই তড়িচ্চালক বল) তারা যে ক্ষমতা ব্যয় করবে তা
 (A) 10 watt (B) 90 watt (C) 30 watt (D) 45 watt.
- 42 এক ফ্যারাডে কত কুলম্বের সমান?
 (A) 69400 (B) 96500 (C) 9640 (D) 6950
- 43 হাইড্রোজেন গ্যাসের ক্ষেত্রে $c_p - c_v = a$ এবং অক্সিজেনের ক্ষেত্রে $c_p - c_v = b$; তাহলে a এবং b এর সম্পর্ক হবে
 (A) $a = b$ (B) $a = 4b$ (C) $a = 16b$ (D) $a = 8b$

- 44 2×10^{-6} কুলম্ব মানের দুটি বিপরীত আধান পরস্পর থেকে 3 cm দূরে থেকে একটি তড়িৎ দ্বিমেরু গঠন করেছে। এটিকে $2 \times 10^3 \text{ NC}^{-1}$ তড়িৎক্ষেত্রে রাখলে এর উপর সর্বাধিক টর্ক হবে
(A) $12 \times 10^{-1} \text{ Nm}$ (B) $12 \times 10^{-3} \text{ Nm}$ (C) $24 \times 10^{-1} \text{ Nm}$ (D) $24 \times 10^{-3} \text{ Nm}$
- 45 একটি প্রবাহ একটি ট্যানজেন্ট গ্যালভানোমিটারে এবং একটি তাম্র-ভোল্টামিটারে প্রবাহিত হচ্ছে। 50 মিনিটে ভোল্টামিটারে 1.98 g তাম্র জমা হল এবং ট্যানজেন্ট গ্যালভানোমিটারে 45° বিক্ষেপ পাওয়া গেল। আমার E.C.E = $0.33 \times 10^{-5} \text{ gC}^{-1}$ হলে, গ্যালভানোমিটারের লঘুগুণক হবে
(A) 10 A (B) 5 A (C) 2 A (D) 1 A.
- 46 একটি বৈদ্যুতিক বাতি 230 volt এর উপযোগী। একে 220 V সরাবরাহ করলে, বাতি
(A) কম আলো দেবে এবং কম দিন টিকবে,
(B) কম আলো দেবে এবং বেশ দিন টিকবে,
(C) বেশি আলো দেবে এবং বেশি দিন টিকবে,
(D) উত্তরের জন্য আরও কিছু তথ্য প্রয়োজন
- 47 একটি আলোক উৎস একজন স্থির পর্যবেক্ষকের দিকে শব্দের গতিবেগের $\frac{1}{10}$ ভাগ গতিবেগ নিয়ে অগ্রসর হচ্ছে। আপাত কম্পাঙ্ক ও প্রকৃত কম্পাঙ্কের অনুপাত হবে
(A) $\frac{10}{9}$ (B) $\frac{11}{10}$ (C) $\left(\frac{11}{10}\right)^2$ (D) $\frac{81}{100}$ ।
- 48 একটি আদর্শ গ্যাসের তাপমাত্রা 27°C থেকে বৃদ্ধি করে 927°C করা হল। এতে গ্যাস অণুগুলির r.m.s. গতিবেগ
(A) দ্বিগুণ হবে (B) অর্ধেক হবে (C) চারগুণ হবে (D) এক চতুর্থাংশ হবে।
- 49 আলোক তড়িৎ ঘটনায় নিবৃত্তি বিভব নির্ভর করে
(A) আপতিত আলোর কম্পাঙ্কের উপর (B) ধাতব পৃষ্ঠের প্রকৃতির উপর
(C) A এবং B দুয়ের উপর (D) আপতিত আলোর তীব্রতার উপর।
- 50 নিম্নলিখিত উক্তিগুলির মধ্যে কোনটি ঠিক নয়?
(A) α -রশ্মি অপেক্ষা γ -রশ্মির ভেদনক্ষমতা বেশি,
(B) α -রশ্মির আয়ননয়ন ক্ষমতা সবচাইতে বেশি,
(C) X-রশ্মির আয়ননয়ন ক্ষমতা সব চাইতে কম,
(D) β -রশ্মির ভেদন ক্ষমতা সর্বাধিক।

❀ SET 12 ❀

- 1 2kg ভরের একটি বস্তু 2 m ব্যাসার্ধের বৃত্তপথে 10 r.p.m বেগে আবর্তন করছে। বস্তুর উপর ক্রিয়ারত অভিকেন্দ্র বল
(A) 4.38 N (B) 503 N (C) 50 N (D) 5 N.
- 2 একটি বস্তুকণা কোনো অক্ষ সাপেক্ষে সমকৌণিক বেগে ঘুরতে থাকলে বস্তুকণার
(A) বেগ ও ত্বরণ ধ্রুবক হবে
(B) দ্রুতি ও ত্বরণ ধ্রুবক কিন্তু বেগ ধ্রুবক নয়
(C) বেগ ও ত্বরণ ধ্রুবক নয় কিন্তু দ্রুতি ধ্রুবক
(D) ত্বরণ ও দ্রুতি ধ্রুবক।

- 3 পৃথিবীর ব্যাসার্ধ R হলে, ভূ-পৃষ্ঠ থেকে একটি ভূ-সমলয় উপগ্রহের উচ্চতা হবে
(A) R (B) $2R$ (C) $3R$ (D) $6R$.
- 4 পৃথিবীর ব্যাসার্ধ 600 km । পৃথিবীর ঘূর্ণনের ফলে বিষুবরেখার উপর অবস্থিত কোনো বিন্দুর অভিকেন্দ্র ত্বরণ হয়
(A) 3.0 cm s^{-2} (B) 3.17 cm s^{-2} (C) 4.1 cm s^{-2} (D) 4.5 cm s^{-2} .
- 5 প্রত্যেকটি m ভরের তিনটি বস্তুকণা একটি সমবাহু ত্রিভুজের শীর্ষবিন্দুতে স্থাপিত। ত্রিভুজের প্রত্যেক বাহুর দৈর্ঘ্য l ; বস্তুকণাগুলি পারস্পরিক মহাকর্ষ বলের অধীনে সমবাহু ত্রিভুজের পরিবৃত্ত (circumcircle) বরাবর প্রদক্ষিণ করলে, বস্তুকণার গতিবেগ হবে
(A) $\frac{Gm}{l^2}$ (B) $\sqrt{\frac{G \cdot l}{m}}$ (C) $\sqrt{\frac{l}{Gm}}$ (D) $\sqrt{\frac{Gm}{l}}$.
- 6 নিম্নলিখিত রাশিগুলির মধ্যে কোনটি বৃদ্ধতাপ প্রক্রিয়ায় স্থির থাকে?
(A) চাপ (B) তাপমাত্রা (C) তাপ (D) আয়তন।
- 7 নির্দিষ্ট পরিমাণ আদর্শ গ্যাসের অভ্যন্তরীণ শক্তি নির্ভর করে
(A) চাপের উপর (B) আয়তনের উপর (C) তাপমাত্রার উপর (D) ঘনত্বের উপর।
- 8 একটি জলপ্রপাতের উচ্চতা 200 m । জলপ্রপাতের শীর্ষে জলের স্থিতিশক্তির শতকরা 90 ভাগ তাপে রূপান্তরিত হয়ে জলে আবদ্ধ থাকলে প্রপাতের শীর্ষ ও পাদদেশে জলের উষ্ণতার পার্থক্য হবে ($J = 4.2 \text{ J cal}^{-1}$)
(A) 0.323°C (B) 0.351°C (C) 0.340°C (D) 0.3°C
- 9 একটি গ্যাসের বৃদ্ধতাপ পরিবর্তনে চাপ (P) পরম তাপমাত্রার ত্রিঘাতের (T^3) সমানুপাতিক হয়। ওই গ্যাসটির $\frac{C_p}{C_v}$ অনুপাত হবে
(A) $\frac{4}{3}$ (B) 2 (C) $\frac{5}{3}$ (D) $\frac{3}{2}$.
- 10 কোনো গ্যাসের গড়বেগ \bar{C} , r.m.s. বেগ C_{rms} এবং সর্বাপেক্ষা সম্ভাব্য বেগ C_m হলে
(A) $C_m < \bar{C} < C_{rms}$ (B) $\bar{C} < C_{rms} < C_m$
(C) $C_m > \bar{C} > C_{rms}$ (D) কোনোটিই নয়।
- 11 নির্দিষ্ট আয়তনের বন্ধ পাত্রে m ভরের আর্শ গ্যাস আছে। গ্যাস অণুর r.m.s বেগ u । অতিরিক্ত m ভরের একই গ্যাস পাত্রে তোকালে স্থির তাপমাত্রায় চাপ হয় $2P$ । গ্যাস অণুর বর্তমান r.m.s. বেগ হবে
(A) u (B) $2u$ (C) $\sqrt{2} \cdot u$ (D) $\frac{u}{\sqrt{2}}$.
- 12 1 লিটার আয়তনের একটি আধারে 2.5×10^{23} সংখ্যক নাইট্রোজেন অণু আছে। অণুগুলির প্রতিটির ভর $4.65 \times 10^{-23} \text{ g}$ এবং মূল গড় বর্গ বেগ (r.m.s.) $5 \times 10^4 \text{ cm s}^{-1}$ । গ্যাসের চাপ হবে
(A) $9.0 \times 10^6 \text{ dyne/cm}^2$ (B) $9.5 \times 10^6 \text{ dyne/cm}^2$
(C) $9.69 \times 10^6 \text{ dyne/cm}^2$ (D) $1 \times 10^7 \text{ dyne/cm}^2$.
- 13 দুটি তরঙ্গের ভিতর পথ-পার্থক্য তরঙ্গ দৈর্ঘ্যের সমান হলে দশা পার্থক্য হবে
(A) π (B) 2π (C) $\frac{\pi}{2}$ (D) $\frac{3}{4}\pi$.

- 14 দুটি রেখাছিদ্র থেকে 120cm দূরে রাখা একখানি পর্দায় 1.5 mm প্রস্থের ব্যতিচার ঝালর পাওয়া গেল। রেখাছিদ্র দুটির পারস্পরিক দূরত্ব 0.45mm হলে আপতিত আলোর তরঙ্গ দৈর্ঘ্য হবে
 (A) 5625×10^{-10} cm (B) 5000×10^{-10} cm
 (C) 55000×10^{-10} cm (D) 5.0×10^{-10} cm.
- 15 কোনো পরিবাহী বস্তু ঋণাত্মক তড়িতে আহিত হয় যখন
 (A) বস্তুটি ইলেকট্রন বর্জন করে (B) বস্তুটি ইলেকট্রন গ্রহণ করে
 (C) বস্তুটি প্রোটন বর্জন করে (D) বস্তুটি নিউট্রন গ্রহণ করে।
- 16 $y = y_0 \sin 2\pi (ft - x/\lambda)$ তির্যক তরঙ্গের তরঙ্গ দৈর্ঘ্য $\lambda = \frac{v_0}{f}$; ঐ তরঙ্গে কোনো কণার সর্বোচ্চ বেগ তরঙ্গ বেগের
 (A) 4 গুণ (B) 2 গুণ (C) 8 গুণ (D) 3 গুণ।
- 17 কোনো প্রগামী তরঙ্গকে $y = 0.25 \cos (2\pi t - \pi x)$ সমীকরণ দ্বারা প্রকাশ করা যায়। বিপরীত দিক থেকে আগত অপর একটি প্রগামী তরঙ্গের বিস্তার দ্বিগুণ এবং কম্পাঙ্ক অর্ধেক হলে তার সমীকরণ হবে
 (A) $y = 0.5 \cos (\pi t - \pi x)$ (B) $y = 0.5 \cos (\pi t + \pi x)$
 (C) $y = 0.5 \cos (\pi t + 2\pi x)$ (D) $y = 0.5 \cos (\pi t + 2\pi x)$
- 18 একটি পাহাড়ের দিকে অগ্রসর হবার সময় জাহাজ থেকে সাইরেন বাজানো হল। 6s পরে প্রতিধ্বনি শোনা গেল। 3 মিনিট পরে আবার সাইরেন বাজালে 4s পরে প্রতিধ্বনি শোনা গেল। জাহাজের গতিবেগ ছিল (বায়ুতে শব্দের গতিবেগ = 1120 fts^{-1})
 (A) 6.00 fts^{-1} (B) 5.00 fts^{-1}
 (C) 6.26 fts^{-1} (D) 5.26 fts^{-1} .
- 19 $\sqrt{\frac{\gamma \cdot P}{\rho}}$ এই ফর্মুলার মাত্রা হবে
 (A) চাপের মাত্রার সমান (B) গতিবেগের মাত্রার সমান
 (C) ত্বরণের মাত্রার সমান (D) ঘনত্বের মাত্রার সমান।
- 20 জলের তুলনায় ইম্পাত আয়তন বিকৃতি গুণাঙ্ক ও ঘনত্ব যথাক্রমে 80 এবং 8 হলে ইম্পাত ও জলে শব্দের বেগের অনুপাত হয়
 (A) $1:\sqrt{5}$ (B) $1:\sqrt{10}$ (C) $\sqrt{5}:1$ (D) $\sqrt{10}:1$.
- 21 একটি পাতকুয়ের মধ্যে পাথর ফেলা হল। পাথরটি জলস্পর্শ করার শব্দ t সময় পরে শোনা গেল। কুয়োটির গভীরতা d হবে (d^2 অগ্রাহ্য করে)
 (A) $d = \frac{v}{2} \left(\frac{v}{g} + t \right)$ (B) $\frac{1}{v} \left(\frac{v}{g} + t \right)$
 (C) $v \left(\frac{v}{g} + t \right)$ (D) $v^2 \left(\frac{v}{g} + t \right)$.
- 22 দুটি সুরশলাকাকে এক সঙ্গে বাজালে 8 টি স্বরকম্প শোনা যায়। প্রথম শলাকাটি 32cm দীর্ঘ এক মুখ খোলা নলের বায়ুস্তম্ভের সঙ্গে এবং দ্বিতীয় শলাকাটি 33cm দীর্ঘ এক মুখ খোলা নলের বায়ুস্তম্ভের সঙ্গে অনুনাদ সৃষ্টি করে। শলাকা দুটির কম্পাঙ্ক
 (A) 260, 250 (B) 264, 256 (C) 200, 208 (D) 210, 218.

- 23 একটি ইঞ্জিন যখন একজন স্থির পর্যবেক্ষকে অতিক্রম করে চলে যায় তখন ইঞ্জিনের হুইশেলের আপাত কম্পাঙ্ক 6:5 অনুপাতে পরিবর্তিত হয়। শব্দের বেগ 330ms^{-1} হলে ইঞ্জিনের গতিবেগ হবে
 (A) 3ms^{-1} (B) 30ms^{-1} (C) 0.33ms^{-1} (D) 660ms^{-1} .
- 24 একটি টানা দেওয়া তার 80 কম্পাঙ্কের সুর উৎপন্ন করছে। ঐ তারের টান 1:9 অনুপাতে এবং দৈর্ঘ্য 1:2 অনুপাতে বৃদ্ধি করলে নতুন সুরের কম্পাঙ্ক হবে
 (A) 100 (B) 110 (C) 120 (D) 130.
- 25 n সংখ্যক বাহুবিশিষ্ট একটি ঘনকের সকল বিন্দুতে q পরিমাণ আধান রাখলে ঘনকের কেন্দ্রে তড়িৎ বিভব হবে
 (A) $\frac{4}{\sqrt{3}\pi\epsilon_0} \cdot \frac{q}{n}$ (B) $\frac{2}{\sqrt{3}\pi\epsilon_0} \cdot \frac{q}{n}$ (C) $\frac{1}{\sqrt{3}\pi\epsilon_0} \cdot \frac{q}{n}$ (D) $\frac{4}{\sqrt{3}\pi\epsilon_0} \cdot \frac{q}{n}$.
- 26 বায়ুপূর্ণ একটি সমান্তরাল প্লেট ধারকের ধারকত্ব 10^{-12}F ; প্লেট দুটির দূরত্ব দ্বিগুণ করা হল এবং তাদের ভিতর মোম ভর্তি করা হল। এতে ধারকত্ব বৃদ্ধি পেয়ে হল $2 \times 10^{-12}\text{F}$ । মোমের আপেক্ষিক আবেশিক ধারকত্ব হবে
 (A) 2.0 (B) 3.0 (C) 4.0 (D) 8.0.
- 27 C ধারকত্বের একটি ধারকে আধান Q, প্লেট দুটির বিভব প্রভেদ V এবং প্রত্যেক প্লেটের ক্ষেত্রফল α । প্লেট দুটির ভিতর আকর্ষণ বল
 (A) $\frac{Q^2}{4\pi\epsilon_0 d^2}$ (B) $\frac{Q^2}{\epsilon_0 \cdot \alpha}$
 (C) $\frac{Q^2}{2\epsilon_0 \alpha}$ (D) $\frac{CV^2}{2d}$ [d = প্লেট দুটির ব্যবধান].
- 28 দুটি ধারককে সমান্তরাল সমবায়ে 20 esu বিভব পার্থক্যে রাখলে তাদের তড়িৎ শক্তি দাঁড়ায় 8000 erg; কিন্তু শ্রেণি সমবায়ে একই বিভব পার্থক্যে রাখলে তড়িৎ শক্তি হয় 1500 erg। ধারক দুটির ধারকত্ব
 (A) 30 ; 10 esu (B) 20 esu; 30 esu (C) 5 esu; 10 esu (D) 4esu ; 8 esu.
- 29 একটি ধনাত্মক তড়িৎধান পূর্বদিক যেতে যেতে একটি চৌম্বকক্ষেত্র দ্বারা উত্তরাভিমুখী বিক্ষিপ্ত হল। চৌম্বক ক্ষেত্রের অভিমুখ
 (A) পূর্ব দিকে (B) দক্ষিণ দিকে (C) উর্ধ্বমুখী (D) নিম্নমুখী।
- 30 চৌম্বক ক্ষেত্র এবং তড়িৎ ক্ষেত্রের ভিতর স্থিরাবস্থায় থাকা একটি আহিত কণা যদি কোনো তড়িৎ চুম্বকীয় বল অনুভব না করে তবে
 (A) তড়িৎ ক্ষেত্র হবে শূন্য,
 (B) চৌম্বক ক্ষেত্র হবে শূন্য,
 (C) তড়িৎ ক্ষেত্র শূন্য হতে পারে আবার নাও হতে পারে,
 (D) চৌম্বক ক্ষেত্র শূন্য হতে পারে আবার নাও হতে পারে।
- 31 একটি দীর্ঘ ফাঁপা নলের ভিতর দিয়ে তড়িৎ প্রবাহ গেলে তার দরুন চৌম্বক ক্ষেত্র তৈরি হবে
 (A) কেবল নলের অভ্যন্তরে (B) কেবল নলের বাইরে

- (C) অভ্যন্তরেও না বাইরেও না (D) অভ্যন্তরে এবং বাইরে দু'জায়গাতেই।
32. 0.1m দীর্ঘ একটি অনুভূমিক তার দিয়ে 5A তড়িৎ প্রবাহ যাচ্ছে। যে চৌম্বক ক্ষেত্র ওই তারের ওপর তারের ওজনের সমান কিন্তু বিপরীতমুখী বল প্রয়োগ করবে তার মান (তারের ভর $= 3 \times 10^{-3} \text{ kg m}^{-1}$)
 (A) $5.0 \times 10^{-3} \text{ T}$ (B) $5.89 \times 10^{-3} \text{ T}$ (C) $5.1 \times 10^{-3} \text{ T}$ (D) $6.1 \times 10^{-3} \text{ T}$.
33. কোনো পরিবর্তি প্রবাহের r.m.s. মান i_{rms} এবং শীর্ষমান i_0 হলে এদের সম্পর্ক হবে
 (A) $i_{rms} = \frac{1}{2} i_0$ (B) $i_{rms} = \frac{1}{\sqrt{2}} i_0$ (C) $i_{rms} = \sqrt{2} i_0$ (D) $i_{rms} = \frac{\sqrt{2}}{i_0}$.
34. একটি আবেশ কুণ্ডলীর পারস্পরিক আবেশাঙ্ক 5H; মুখ্য কুণ্ডলীতে 10^{-3} সেকেন্ডে প্রবাহমাত্রা 5A থেকে শূন্য হলে, গৌণ কুণ্ডলীতে আবিষ্টি তড়িচ্চালক বলের মান হয়
 (A) $2.5 \times 10^3 \text{ V}$ (B) $2.5 \times 10^4 \text{ V}$ (C) $2.5 \times 10^2 \text{ V}$ (D) শূন্য।
35. 100 cm^2 প্রস্থচ্ছেদের একটি কুণ্ডলীতে 100 পাক আছে। কুণ্ডলীর তলের সাথে লম্বভাবে 0.1 Wb m^{-2} চৌম্বক প্রবাহ ঘনত্বের চৌম্বক ক্ষেত্র প্রয়োগ করা হল। 0.1 সেকেন্ড সময় চৌম্বক ক্ষেত্র সরিয়ে নিলে কুণ্ডলীতে আবিষ্টি তড়িচ্চালক বলের মান হবে
 (A) 2 volt (B) 3 volt (C) 2.5 volt (D) 1 volt.
36. অর্ধপরিবাহী ডায়োডের যে অঞ্চলে গতিশীল আধানের অস্থিত্ব থাকে না, তাকে বলা হয়
 (A) P-অঞ্চল (B) N-অঞ্চল (C) নিঃশেষিত অঞ্চল (D) কোনোটিই নয়।
37. অর্ধপরিবাহী ডায়োডে সম্মুখবর্তী বায়াস (forward bias) দিলে নিঃশেষিত স্তরের বেষ এবং বিভব প্রতিবন্ধকতা
 (A) উভয়েই হ্রাস পায়,
 (B) উভয়েই বৃদ্ধি পায়,
 (C) বেষ বৃদ্ধি পায় কিন্তু বিভব প্রতিবন্ধকতা হ্রাস পায়,
 (D) বেষ হ্রাস পায় কিন্তু বিভব প্রতিবন্ধকতা বৃদ্ধি পায়।
38. অর্ধপরিবাহী ডায়োডে বিপরীত বায়াস (reverse bias) দিলে তড়িৎ প্রবাহ মাত্রা হয়
 (A) শূন্য (B) খুব কম (C) খুব বেশি (D) কোনোটিই নয়।
39. অপরিবাহী পদার্থের ওপর তড়িৎক্ষেত্র প্রয়োগ করলে ওই পদার্থের ভিতর
 (A) কোনো তড়িৎ প্রবাহ হয় না,
 (B) খুব বেশি তড়িৎ প্রবাহ হয়,
 (C) যে তড়িৎ প্রবাহ হয় তা ওহম সূত্র মেনে চলে না,
 (D) খুব সামান্য তড়িৎ প্রবাহ হয়।
40. একটি বিশুদ্ধ অর্ধপরিবাহীতে গর্তের সংখ্যা n_p এবং পরিবাহী ইলেকট্রনের সংখ্যা n_e । তাহলে
 (A) $n_p > n_e$ (B) $n_p = n_e$
 (C) $n_p < n_e$ (D) $n_p \neq n_e$.
- | A | B | \overline{AB} |
|---|---|-----------------|
| 0 | 0 | 1 |
| 0 | 1 | 1 |
| 1 | 0 | 1 |
| 1 | 1 | 0 |
41. পার্শ্বে প্রদর্শিত ট্রুথটেবল নিম্নলিখিত গেটগুলির কোন্টির ক্ষেত্রে প্রযোজ্য
 (A) NOT (B) OR (C) NAND (D) NOR.
42. দুটি বাল্ব সমান্তরাল সমবায়ে আবদ্ধ আছে। বাল্ব A বাল্ব B অপেক্ষা উজ্জ্বলতর আলো দেয়। যদি তাদের ফিলামেন্ট রোধ R_A এবং R_B হয়, তবে

(A) $R_A = R_B$ (B) $R_A > R_B$ (C) $R_A < R_B$ (D) কোনোটিই নয়।

- 43 কোনো মৌলের রাসায়নিক তুল্যাঙ্ক c এবং তড়িৎ রাসায়নিক তুল্যাঙ্ক z হলে, তাদের সম্পর্ক হবে

(A) $z = c$

(B) $z = \frac{c}{96490}$

(C) $z = c \times 96490$

(D) কোনো সম্পর্ক নেই।

- 44 অ্যামিটারের রোধ R_A এবং ভোল্টমিটারের রোধ R_V ; রোধ দুটি তুলনা করলে দেখা যায়

(A) $R_A = R_V$

(B) R_A খুব ছোটো ; R_V খুব বড়ো

(C) R_A খুব বড়ো ; R_V খুব ছোটো

(D) দুটি কাছাকাছি।

- 45 আলোর একটি বিন্দু উৎসকে আলোকতড়িৎ প্রক্রিয়ার জন্য ব্যবহার করা হল। উৎসকে ধাতব প্লেট থেকে দূরে সরিয়ে নিলে নিবৃ্ত্তি বিভব

(A) বৃদ্ধি পাবে

(B) হ্রাস পাবে

(C) একই থাকবে

(D) বাড়তেও পারে কমেতেও পারে।

- 46 একটি ধাতব তলকে পরপর $0.35 \mu\text{m}$ এবং $0.54 \mu\text{m}$ তরঙ্গদৈর্ঘ্যের আলো দ্বারা উজ্জাসিত করা হল। ওই তলের কার্য অপেক্ষক 1.875 eV । তল থেকে যে ইলেকট্রন প্রবাহ পাওয়া যাবে তাদের সর্বাধিক গতিবেগের অনুপাত হবে

(A) 4 : 1

(B) 2 : 1

(C) 3 : 4

(D) 4 : 3.

- 47 হাইড্রোজেন পরমাণু ইলেকট্রন প্রথম বোর কক্ষপথে সেকেন্ডে কতবার আবর্তন করে ?

(A) $\frac{4\pi^2 m r^2}{h}$

(B) $\frac{h}{4\pi^2 m r^2}$

(C) $\frac{h}{2\pi m r}$

(D) $\frac{2\pi m r}{h}$.

- 48 X- রশ্মি নল থেকে নির্গত X- রশ্মির ক্ষুদ্রতম তরঙ্গদৈর্ঘ্য 0.247 \AA । নলে কার্যকর বিভব প্রভেদ

(A) 5kV

(B) 25kV

(C) 50kV

(D) 100kV.

- 49 একটি কণা বক্রপথে গতিশীল। বক্রপথের কোনো বিন্দুতে তার রৈখিক ভরবেগ = \vec{p} ; নির্দিষ্ট বিন্দু সাপেক্ষে P বিন্দুর স্থান ভেক্টর \vec{r} হলে ওই নির্দিষ্ট বিন্দু সাপেক্ষে কণার কৌণিক ভরবেগ L হবে

(A) $\vec{L} = \vec{r}^2 \times \vec{p}$

(B) $\vec{L} = \vec{r} \times \vec{p}$

(C) $\frac{\vec{L}}{\vec{p}} = \vec{r}$

(D) $\vec{p} = \vec{L} \cdot \vec{r}$.

- 50 একটি গোলচাকতির ব্যাস 0.3 m এবং ভর 0.09 kg । চাকাটিটি সমতল ভূমির ওপর দিয়ে 6 ms^{-1} বেগে গড়াতে গড়াতে অগ্রসর হলে তার মোট শক্তি হবে

(A) 2.5 J

(B) 2.56 J

(C) 2.43 J

(D) 2.40 J.

● SET 13 ●

- 1 একটি বায়ুস্তম্ভে স্থানু তরঙ্গ উৎপন্ন করা হল। বায়ুতে শব্দের বেগ 330 ms^{-1} এবং তরঙ্গের কম্পাঙ্ক 165 Hz । দুটি নিন্দ্র বিন্দুর ভিতর দূরত্ব হবে

(A) 2m

(B) 1m

(C) 0.5m

(D) 4m.

- 2 100 Hz কম্পাঙ্কের একটি শব্দ উৎস থেকে এক পর্যবেক্ষক 33 ms^{-1} গতিবেগে দূরে চলে যাচ্ছে। বায়ুতে শব্দের বেগ 33 ms^{-1} হলে শব্দের আপাত কম্পাঙ্ক

(A) 90 Hz

(B) 100 Hz

(C) 91 Hz

(D) 110 Hz.

3. তারে উৎপন্ন তরঙ্গের ওপর পর পর দুটি তরঙ্গা শীর্ষের দূরত্ব 5 cm। প্রতি সেকেন্ড যে-কোনো একটি বিন্দু দিয়ে 2 টি পূর্ণ তরঙ্গা চলে গেলে তরঙ্গের বেগ হবে
(A) 2.5 cms^{-1} (B) 5 cms^{-1} (C) 10 cms^{-1} (D) 15 cms^{-1} .

4. $5 \times 10^{-7} \text{ m}$ তরঙ্গদৈর্ঘ্যের এক বর্ণের আলো একটি যুগ্ম রেখাছিদ্রকে উদ্ভাসিত করছে। রেখা ছিদ্র দুটির ব্যবধান 1 mm। ব্যতিচার ঝালরে উজ্জ্বল বিন্দুগুলির দূরত্ব হবে (রেখাছিদ্র থেকে পর্দার দূরত্ব 2m)
(A) 0.1mm (B) 0.25mm (C) 6.4mm (D) 1mm.

$$[\text{Hints : ঝালর প্রস্থ} = \frac{\lambda \cdot D}{d} = \frac{5 \times 10^{-7} \cdot 2}{10^{-3}}]$$

5. একটি খোলা নল 230 HZ কম্পাঙ্কের মূলসুর উৎপন্ন করছে। বায়ুতে শব্দের বেগ 330 ms^{-1} হলে বায়ুস্তম্ভের দৈর্ঘ্য হবে
(A) 0.25m (B) 0.5m (C) 0.75m (D) 2.0m.

6. 200g ভর এবং 10cm ব্যাসার্ধের একটি গোলাকার পাতলা চাকতি তার কেন্দ্রগত উল্লম্ব এক অক্ষের সাপেক্ষে ঘুরছে। তার জাড্য ভ্রামক ($\text{kg} \cdot \text{m}^2$ এককে) হবে
(A) 10^{-3} (B) 5×10^{-4} (C) 10^{-2} (D) 2.

7. ভূপৃষ্ঠ থেকে একটি রকেটকে 19.6 ms^{-2} ত্বরণ দিয়ে উর্ধ্বে ছোড়া হল। 5s পরে রকেটের ইঞ্জিন বন্ধ করে দিলে ভূপৃষ্ঠ থেকে রকেট যে সর্বোচ্চ উচ্চতা আরোহণ করবে তা
(A) 245 m (B) 490 m (C) 980 m (D) 735 m.

8. প্রত্যেকটির ব্যাস $2a$ এবং ভর m এরূপ চারটি গোলককে একটি বর্ণের চার কোণায় রাখা আছে। বর্ণের বাহুর দৈর্ঘ্য b । বর্ণের যে-কোনো বাহুকে অক্ষ করে সংস্থার আবর্তন হলে, জাড্য ভ্রামক হবে

$$(A) \frac{8}{5}ma^2 + 4mb^2 \quad (B) \frac{8}{5}ma^2 + 16mb^2$$

$$(C) \frac{8}{5}ma^2 + 2mb^2 \quad (D) \frac{16}{5}ma^2 + 8mb^2.$$

9. একটি সমান্তরাল প্লেট ধারকের প্লেট দুটির মধ্যে K আপেক্ষিক আবেশিক ধারকত্বের একটি বস্তু রাখলে ধারকের ধারকত্ব
(A) K গুণ বেড়ে যাবে (B) K গুণ কমে যাবে
(C) K^2 গুণ কমে যাবে (D) K^2 গুণ বেড়ে যাবে।

10. একটি তাপগতিবিদ্যা সংক্রান্ত প্রক্রিয়ায় নির্দিষ্ট পরিমাণ গ্যাসের চাপ এরূপভাবে পরিবর্তিত করা হল যে গ্যাস 20 J তাপ মুক্ত করল এবং গ্যাসের উপর 8J কার্য করা হল। গ্যাসের প্রাথমিক অভ্যন্তরীণ শক্তি 30 J থাকলে চূড়ান্ত অভ্যন্তরীণ শক্তি হবে
(A) 2 J (B) 18 J (C) 42 J (D) 58 J.

$$[\text{Hints : } \Delta Q = -20 \text{ J ; } \Delta W = -8 \text{ J ; } \Delta U = \Delta Q - \Delta W = -20 - (-8) = -12 \text{ J}]$$

$$\therefore U_f = U_i - 12 = 30 - 12 = 18 \text{ J}]$$

11. একজন লোক 20 ms^{-1} বেগে 20 m ব্যাসার্ধের একটি বৃত্ত বরাবর সাইকেল চালাচ্ছে। ব্যক্তি ও সাইকেলের মোট ভর 90 kg। সাইকেল না পড়ে, উল্লম্বের সাথে সাইকেল কত কোণ করে চলবে ? ($g = 9.8 \text{ ms}^{-2}$)
(A) 60.25° (B) 63.90° (C) 26.12° (D) 30° .

- 12 একটি কুণ্ডলীতে 100 volt d.c. প্রয়োগ করলে 1 A প্রবাহ যায়। যখন 50 cycles s^{-1} কম্পাঙ্ক ও 100 volt a.c. প্রয়োগ করা হয় তখন প্রবাহ হয় 0.5 A। কুণ্ডলীর প্রতিঘাত (impedance) হবে।

(A) 100 Ω (B) 200 Ω (C) 300 Ω (D) একটাও না।

- 13 একটি তাপ যুগ্মের এক সংযোগ $0^\circ C$ উষ্ণতায় থাকলে তাপীয় তড়িৎচালক বল হয় $e = (50t - 12000)(1 - e^{0.002t}) \mu V$ । $0^\circ C$ উষ্ণতায় পেলটিয়ার গুণাঙ্ক হবে,

(A) 0.71 mV (B) 7.1 mV (C) $\frac{7.1}{e}$ mV (D) 71 mV.

[Hints : পেলটিয়ার গুণাঙ্ক $\pi = T \left(\frac{de}{dt} \right)_T$ এখানে $T = (0 + 273) K$]

- 14 10 m ব্যাসার্ধের একট বৃত্তের কেন্দ্রে 10 একক তড়িতাধান রাখা আছে। 1 একক তড়িতাধানকে বৃত্তের পরিধি বরাবর এক পাক ঘুরিয়ে আনলে কৃতকার্য

(A) শূন্য (B) 10 একক (C) 100 একক (D) 1 একক।

- 15 একটি D.C. মোটরের মোট রোধ 1.5 Ω । 115 volt সরবরাহ লাইনে যুক্ত করলে ঘুরন্ত অবস্থায় 10 A প্রবাহ নেয়। মোটরে পশ্চাৎবর্তী তড়িচ্চালক বল (back e.m.f.)

(A) 100 V (B) 115 V (C) 11.5 V (D) 1.5 V.

- 16 একটি তড়িৎগ্রস্ত প্লেটের সম্মুখে একটি নির্দিষ্ট দূরত্বে একটি স্থির মানের আধান রাখলে আধান বিকর্ষণ বল অনুভব করে। এদের মধ্যবর্তী স্থান মোম দ্বারা ভর্তি করা হল। এবার

(A) বিকর্ষণ বল পরিবর্তিত হয়ে আকর্ষণ বল কাজ করবে,

(B) বিকর্ষণ বল বৃদ্ধি পাবে,

(C) বিকর্ষণ বল কমে যাবে,

(D) আকর্ষণ বল বৃদ্ধি পাবে অথবা হ্রাস পাবে।

- 17 একটি নমুনায় 270 দিন অর্ধায়ুর 10 mg তেজস্ক্রিয় বস্তু আছে। 540 দিন পরে ঐ নমুনায় যে ভরের তেজস্ক্রিয় বস্তু পড়ে থাকবে তা

(A) 5 mg (B) 2.5 mg (C) 1.25 mg (D) শূন্য।

- 18 চলকুণ্ডলী গ্যালভানোমিটারের সুবেদিতা বৃদ্ধি করা যেতে পারে

(A) কুণ্ডলীর পাক সংখ্যা বৃদ্ধি করে

(B) পাক সংখ্যা হ্রাস করে

(C) কুণ্ডলীর ক্ষেত্রফল হ্রাস করে

(D) কোনোটিই নয়।

- 19 একটি আধানগ্রস্ত পরিবাহীর ক্ষেত্রে, বিভব সর্বত্র সমান হবে

(A) পরিবাহীর ঠিক অভ্যন্তরে

(B) পরিবাহীর ঠিক বাইরে

(C) পরিবাহীর ভিতরে

(D) পরিবাহীর বাইরে।

- 20 ট্যানজেন্ট গ্যালভানোমিটারের লঘু গুণক

(A) সর্বত্র সমান

(B) ভূচৌম্বক ক্ষেত্রের সমানুপাতিক

(C) ভূচৌম্বক ক্ষেত্রের ব্যস্তানুপাতিক

(D) কোনোটিই নয়।

- 21 ঘূর্ণাক্ষের সাপেক্ষে 3 kgm^2 জড় ভ্রামক যুক্ত একটি বস্তু 3 rads^{-1} কৌণিক বেগে আবর্তিত হচ্ছে। এর গতিশক্তি 27 kg ভরের একটি বস্তুর গতিশক্তির সমান হলে, ঐ বস্তুর গতিবেগ হবে

(A) 1 ms^{-1}

(B) 0.5 ms^{-1}

(C) 1.5 ms^{-1}

(D) 2 ms^{-1} .

- 22 27°C উষ্ণতা এবং 1 বায়ুমণ্ডলীর চাপে একটি গ্যাসের ঘনত্ব d । কোন তাপমাত্রায় গ্যাসের ঘনত্ব $0.75d$ হবে? চাপ অপরিবর্তিত আছে।
 (A) 30°C (B) 127°C (C) 20°C (D) 36°C .
- 23 0.8 m ব্যাসার্ধের বৃত্তপথে 2 kg ভরের একটি বস্তু 44 rad s^{-1} কৌণিক বেগে আবর্তন করছে। বৃত্তপথের ব্যাসার্ধ 1 m হলে কৌণিকবেগ কত হবে?
 (A) 28.16 rads^{-1} (B) 19.28 rads^{-1} (C) 8.12 rads^{-1} (D) 35.26 rads^{-1} .
- 24 একটি গ্যাসকে 927°C থেকে 27°C এ শীতল করলে তার অভ্যন্তরীণ শক্তির পরিবর্তন হবে
 (A) 300% (B) 200% (C) 100% (D) 400% .

[Hints : অভ্যন্তরীণ শক্তি $U = \frac{3}{2} KT$; $\therefore U \propto T$]

- 25 হাইড্রোজেন পরমাণুর ভোমস্তরে ইলেকট্রনের শক্তি এবং Be^{2+} পরমাণুর প্রথম উদ্দীপিত কক্ষপথে ইলেকট্রনের শক্তির অনুপাত
 (A) $1:4$ (B) $1:8$ (C) $1:6$ (D) $16:1$.

[Hints : Be এর $Z = 4$]

- 26 দুটি বস্তুর ব্যবধান $= R$; এদের ভিতর মহাকর্ষ বল $\frac{1}{R}$ এর সমানুপাতী। এই ধরনের বলের অধীনে কোনো বস্তু বৃত্তীয় পথে পরিভ্রমণ করলে, তার কক্ষীয় গতিবেগ হবে
 (A) $\propto \frac{1}{R^2}$ (B) $\propto R^0$ (C) $\propto R^1$ (D) $\propto \frac{1}{R}$.

- 27 ক্ষুদ্র তরলবিন্দু গোলাকার ধারণ করে কারণ
 (A) তরলের পৃষ্ঠটান আছে,
 (B) তরলবিন্দু অসংখ্য অণুর সমষ্টি,
 (C) নির্দিষ্ট আয়তনের বেলায় গোলকের ক্ষেত্রফল সর্বনিম্ন,
 (D) কোনোটিই নয়।

- 28 কোয়ান্টাম তত্ত্ব অনুযায়ী ফোটনের ভরবেগ (p), কম্পাঙ্ক (f), তরঙ্গদৈর্ঘ্য (λ) কীভাবে সম্পর্কযুক্ত?
 (A) $p = \frac{h}{\lambda}$ (B) $p = h\lambda$ (C) $p = hf$ (D) $p = \frac{h}{f}$.

- 29 N-type অর্ধপরিবাহী তৈরি করতে জার্মেনিয়াম অথবা সিলিকনকে ডোপ করতে হবে
 (A) B, Ga এর ন্যায় পঞ্চযোজী পরমাণু দ্বারা,
 (B) P, As এর ন্যায় ত্রিযোজী পরমাণু দ্বারা,
 (C) P, As এর ন্যায় পঞ্চযোজী পরমাণু দ্বারা,
 (D) B, Ga-এর ন্যায় ত্রিযোজী পরমাণু দ্বারা।

- 30 দণ্ড চুম্বকের চৌম্বকক্ষেত্রের উদাসীন বিন্দুতে সূচি-চুম্বক
 (A) উত্তর-দক্ষিণ মুখ করে দাঁড়ায়,
 (B) পূর্ব-পশ্চিম মুখ করে দাঁড়ায়,
 (C) উত্তর-পশ্চিম মুখ করে দাঁড়ায়,
 (D) যে-কোনো দিকে মুখ করে দাঁড়ায়।

31. $+2C$ এবং $+6C$ দুটি বিন্দু আধান পরস্পরকে $12N$ বলে বিকর্ষণ করে। প্রত্যেকটি বিন্দু আধানকে অতিরিক্ত $-2C$ আধান দিলে, তাদের ভিতর বিকর্ষণ বল হবে
(A) শূন্য (B) $8N$ (আকর্ষণ) (C) $8N$ (বিকর্ষণ) (D) একটাও না।
32. একটি তারে স্থির প্রবাহ যাচ্ছে। তারটিকে বাঁকিয়ে এক পাকের কুণ্ডলী করা হল। পরে একই তারকে ক্ষুদ্রতর ব্যাসার্ধের দুই পাকের কুণ্ডলী করা হল। একই প্রবাহ যে চৌম্বক ক্ষেত্র কুণ্ডলীর কেন্দ্রে সৃষ্টি করবে তাতে
(A) দ্বিতীয় ক্ষেত্রে হবে প্রথম ক্ষেত্রের এক চতুর্থাংশ,
(B) একই হবে,
(C) দ্বিতীয় ক্ষেত্রে হবে প্রথম ক্ষেত্রের চারগুণ,
(D) দ্বিতীয় ক্ষেত্রে হবে প্রথম ক্ষেত্রের অর্ধেক।
33. $25W$, $40W$ এবং $100W$ এর তিনটি বাতি মেইনসের সঙ্গে শ্রেণি সমবায়ে যুক্ত আছে। যে বাতিটি সর্বাপেক্ষা উজ্জ্বলতম হয়ে জ্বলবে সেটি হল
(A) $25W$ বাতি (B) $40W$ বাতি
(C) $100W$ বাতি (D) সব কটি বাতি সমান উজ্জ্বল হয়ে জ্বলবে।
34. $5g$ ভরের একটি কণা XOY তল থেকে $y=x+4$ রেখা বরাবর $3\sqrt{2} \text{ cm s}^{-1}$ সুষম গতিবেগে যাচ্ছে। মূলবিন্দু সাপেক্ষে কণার কৌণিক ভরবেগ হবে,
(A) 60 gcm s^{-1} (B) $40\sqrt{2} \text{ gcm s}^{-1}$ (C) শূন্য (D) 7.5 gcm s^{-1} ।
[Hints : মূল বিন্দু সাপেক্ষে সরল রেখার সমীকরণ $x-y+4=0$ । মূলবিন্দু থেকে সরল রেখার দূরত্ব $\frac{0-0+4}{\sqrt{1^2+1^2}} = \frac{4}{\sqrt{2}}$ ।
 \therefore কৌণিক ভরবেগ $= m.v.r = 5 \times 3\sqrt{2} \times \frac{4}{\sqrt{2}} = 60 \text{ gcm s}^{-1}$]
35. সমান ভরের দুটি কণা একই বেগে r_1 এবং r_2 ব্যাসার্ধের বৃত্তপথে ঘুরছে। তাদের অভিকেন্দ্র বলের অনুপাত হবে
(A) r_2/r_1 (B) $\sqrt{\frac{r_2}{r_1}}$ (C) r_1/r_2 (D) $\left(\frac{r_2}{r_1}\right)^2$ ।
36. 60 kg ভরের একটি লরি অনুভূমিক রাস্তায় গতিশীল আছে। লরির গতিশক্তি $120J$ । 40 kg ভরের একটি বস্তুকে ধীরে ধীরে উপর থেকে খাড়া নিচে লরির উপর ফেলা হল। সমগ্র সংস্থার বর্তমান গতিশক্তি
(A) $60J$ (B) $120J$ (C) $72J$ (D) কোনোটিই না।
37. শূন্য দেশে (free space) আলোর গতিবেগ
(A) আলোর কম্পাঙ্কের উপর নির্ভরশীল, (B) আলোর তরঙ্গদৈর্ঘ্যের উপর নির্ভরশীল,
(C) আলোর তীব্রতার উপর নির্ভরশীল, (D) ধ্রুবক।
38. 3500 পাক এবং 15 cm ব্যাসার্ধের একটি তারকে 800 আপাত ভ্যেদ্যতা যুক্ত অয়স্টোনিক শীসের (core) উপর জড়ানো হল। তার দিয়ে $1.2A$ প্রবাহ গেলে শীসে চৌম্বক ক্ষেত্র হবে
(A) 0.39 Oe (B) 5.76 Oe (C) $5.76T$ (D) $4.48T$ ।

[Hints : শীসে চৌম্বকক্ষেত্র $B = \mu_0 \mu_r I$ (S.I) ; $\mu_r = 800$, $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}$, $I = 1.2$ A]

- 39 P-N সংযোগে প্রবাহ খুব ক্ষীণ হয় যখন
 (A) সংযোগে সম্মুখবর্তী বায়াস থাকে, (B) বিপরীত বায়াস থাকে,
 (C) ধনাত্মক বায়াস থাকে, (D) ঋণাত্মক বায়াস থাকে।
- 40 তেজস্ক্রিয় সমস্থানিকের অর্ধায়ু কমানো যেতে পারে
 (A) ভর হ্রাস করে (B) তাপমাত্রা হ্রাস করে (C) চাপ হ্রাস করে (D) কোনোটিই না।
- 41 বিভিন্ন স্থানে বিভিন্ন ব্যাস এরূপ একটি অসম নলের ভিতর দিয়ে তরলের প্রবাহে হলে, চাপ
 (A) সর্বনিম্ন হবে যেখানে গতিবেগ সর্বাধিক (B) সর্বাধিক হবে যেখানে গতিবেগ সর্বনিম্ন
 (C) সর্বাধিক যেখানে গতিবেগ সর্বাধিক (D) কোনোটিই না।
- 42 অনুভূমিক তলে একটি বন্দুকের সর্বাধিক প্রক্ষেপ সীমা 16 km ; $g = 10 \text{ ms}^{-2}$ হলে, নল থেকে
 বেরোবার মুহূর্তে গুলির গতিবেগ হবে
 (A) 100 ms^{-1} (B) 400 ms^{-1} (C) $200 \sqrt{2} \text{ ms}^{-1}$ (D) $160 \sqrt{10} \text{ ms}^{-1}$ ।
- 43 একটি বৈদ্যুতিক পাখার ব্লেডের দৈর্ঘ্য ঘূর্ণাক্ষ থেকে 0.3 m । পাখা 1200 r.p.m. বেগে ঘুরলে
 ব্লেডের শেষ প্রান্তের কোনো বিন্দুর ত্বরণ হবে
 (A) $120 \pi^2 \text{ ms}^{-2}$ (B) $240 \pi^2 \text{ ms}^{-2}$ (C) $360 \pi^2 \text{ ms}^{-2}$ (D) $480 \pi^2 \text{ ms}^{-2}$ ।
- 44 পৃথিবীর ব্যাস বরাবর একটি মসৃণ ছিদ্র করে একটি পাথর খন্ডকে ঐ ছিদ্রে ফেলা হল। পাথর
 খন্ড যখন ভূকেন্দ্রে পৌঁছাবে তখন বস্তুর কিছু
 (A) ভর থাকবে (B) ওজন থাকবে (C) ত্বরণ থাকবে (D) স্থিতিশক্তি থাকবে।
- 45 গতিশীল তড়িতাধান
 (A) কেবল তড়িৎ ক্ষেত্র সৃষ্টি করে,
 (B) কেবল চৌম্বক ক্ষেত্র সৃষ্টি করে,
 (C) তড়িৎ এবং চৌম্বক দুই ক্ষেত্র তৈরি করে,
 (D) হয় তড়িৎক্ষেত্র না হয় চৌম্বক ক্ষেত্র সৃষ্টি করে।
- 46 একটি ধাতবপৃষ্ঠে অতিবেগুনি আলো পড়লে কোন ইলেকট্রন নির্গত হল না। অন্য একটি রশ্মি
 ঐ ধাতুপৃষ্ঠে আলোকতড়িৎ ক্রিয়া প্রদর্শন করলে, দ্বিতীয় রশ্মি
 (A) নিশ্চয়ই বেতার তরঙ্গ রশ্মি, (B) নিশ্চয়ই অবলোহিত রশ্মি,
 (C) নিশ্চয়ই দৃশ্যমান আলোকরশ্মি, (D) নিশ্চয়ই X-রশ্মি।
- 47 তেজস্ক্রিয়তার কারণ
 (A) নিউক্লিয়াসের বিঘটন (B) পরমাণুর ভাঙন
 (C) মহাজাগতিক রশ্মি কর্তৃক নিউক্লিয় বিক্রিয়া (D) নিউক্লিয়াসের সংযোজন।
- 48 নিম্নলিখিত তরঙ্গগুলির মধ্যে কোনটির সমবর্তন হয় না ?
 (A) বেতার তরঙ্গ (B) X- রশ্মি তরঙ্গ (C) শব্দ তরঙ্গ (D) গ্যামা-রশ্মি।
- 49 নিম্নলিখিতদের মধ্যে কোনটি ক্রমাগত হ্রাসমান তরঙ্গ দৈর্ঘ্য প্রকাশ করে ?
 (A) অবলোহিত তরঙ্গ, বেতার তরঙ্গ, X-রশ্মি, দৃশ্যমান আলো তরঙ্গ
 (B) বেতার তরঙ্গ, অবলোহিত তরঙ্গ, দৃশ্যমান আলোক তরঙ্গ, X- রশ্মি তরঙ্গ
 (C) বেতার তরঙ্গ, দৃশ্যমান আলো তরঙ্গ, অবলোহিত তরঙ্গ, X-রশ্মি তরঙ্গ
 (D) X-রশ্মি তরঙ্গ, দৃশ্যমান আলোক তরঙ্গ, অবলোহিত তরঙ্গ, বেতার তরঙ্গ।

- 50 সাবান জলের পৃষ্ঠটান 0.05 Nm^{-1} । 1 mm ব্যাসার্ধের একটি সাবান জলের বুদবুদের অভ্যন্তরস্থ অতিরিক্ত চাপ
 (A) 10 Nm^{-2} (B) 100 Nm^{-2} (C) 200 Nm^{-2} (D) 300 Nm^{-2} .

[Hints : অতিরিক্ত চাপ $= \frac{4T}{r}$; $T = 0.05 \text{ N-m}^{-2}$; $r = 1 \text{ mm}$]

✪ SET 14 ✪

- 1 θ কোণে আনত একটি নততলের শীর্ষবিন্দু থেকে একটি গোলককে ছেড়ে দেওয়া হল। গোলকটি না পিছলে, কেবল গড়িয়ে নামলে গোলকটি যখন নততলের পাদদেশে পৌঁছাবে তখন তার গতিবেগ হবে (নততলের দৈর্ঘ্য $= l$)
 (A) $\sqrt{\frac{10}{7} g \cdot l \cdot \sin \theta}$ (B) $\sqrt{\frac{10}{7} \frac{l \sin \theta}{g}}$ (C) $\sqrt{\frac{10}{7} \frac{l \sin \theta}{g^2}}$ (D) $\frac{l \sin \theta}{g}$.
- 2 কোনো বস্তুর জাড্য-ভ্রামক নির্ভর করে
 (A) ঘূর্ণাক্ষের অবস্থানের উপর, (B) চক্রগতির ব্যাসার্ধের উপর,
 (C) বস্তুর ওজনের উপর, (D) কোনোটিই নয়।
- 3 ঘূর্ণয়মান বস্তুর অভিকেন্দ্র বল, অপকেন্দ্র বল ও অভিকেন্দ্র প্রতিক্রিয়া বিশ্লেষণ করলে পাই
 (A) অভিকেন্দ্র বল ও অপকেন্দ্র বল একই বস্তুর উপর ক্রিয়া করে না,
 (B) অভিকেন্দ্র বল ও অপকেন্দ্র বল একই বস্তুর ওপর ক্রিয়া করে,
 (C) অভিকেন্দ্র বল ও অপকেন্দ্র বল পরস্পরের সমান কিন্তু বিপরীতমুখী,
 (D) অভিকেন্দ্র বলের মান অভিকেন্দ্র প্রতিক্রিয়ার সমান।
- 4 অপকেন্দ্র বলকে অলীক বলা হয় ; কারণ
 (A) ত্বরিত নির্দেশতন্ত্রের বাইরে এর কোনো অস্তিত্ব নেই,
 (B) এই বলের প্রয়োগ কর্তাকে চিহ্নিত করা যায় না,
 (C) এই বল দুটি বস্তুর ক্রিয়া-প্রতিক্রিয়ার জন্য উদ্ভব হয়,
 (D) কোনোটিই নয়।
- 5 u বেগে গতিশীল একটি ট্রাকের চালক সহসা a দূরে একটি দেওয়াল দেখতে পেল। দেওয়ালের সাথে সংঘর্ষ এড়াবার জন্য চালক
 (A) ব্রেক কষে গাড়ি থামাবে,
 (B) ব্রেক না কষে বৃত্ত পথে ঘুরে দেওয়াল এড়িয়ে যাবে,
 (C) কোনো ভাবেই সংঘর্ষ এড়ানো সম্ভব না,
 (D) কোনোটিই না।
- 6 একই কক্ষপথে রেখে একটি উপগ্রহের ভর দ্বিগুণ করলে, তার পরিভ্রমণ কাল
 (A) দ্বিগুণ হবে (B) অর্ধেক হবে
 (C) একই থাকবে (D) অন্য কক্ষপথে চলে যাবে।
- 7 তিনটি সুযম গোলকের প্রত্যেকটির ভর m এবং ব্যাসার্ধ r । গোলকগুলিকে এরূপভাবে বসানো হল যাতে প্রত্যেক গোলক অপর দুটি গোলক-কে স্পর্শ করে। প্রত্যেকটি গোলকের উপর অপর দুটি গোলকের দ্বারা অভিকর্ষীয় বল হবে

- (A) $\frac{\sqrt{3}}{4} \cdot \frac{G \cdot m}{r}$ (B) $\frac{\sqrt{3}}{4} \cdot \frac{G m^2}{r^2}$ (C) $\frac{G m^2}{r^2}$ (D) $\frac{\sqrt{3}}{4} \cdot \frac{G m}{r^2}$.

- 8 যে সংস্থা পরিপার্শ্বের সাথে শক্তি বা পদার্থের কোনোরূপ আদানপ্রদান করে না তাকে বলা হয়
(A) বন্ধ সংস্থা (B) মুক্ত সংস্থা (C) বিচ্ছিন্ন সংস্থা (D) তাপগতীয় সংস্থা।
- 9 দ্বিপরমাণুক গ্যাসের C_v এবং C_p -র মান যথাক্রমে
(A) $\frac{3}{2}R$; $\frac{5}{2}R$ (B) $\frac{7}{2}R$; $\frac{5}{2}R$ (C) $\frac{5}{2}R$; $\frac{7}{2}R$ (D) $\frac{R}{2}$; $\frac{3}{2}R$ ।
- 10 44.8 litre স্থির আয়তনের একটি চোঙে প্রমাণ চাপ ও তাপমাত্রায় হিলিয়াম গ্যাস ভর্তি করা হল।
এ গ্যাসের উষ্ণতা 15°C বৃদ্ধি করতে যে তাপের প্রয়োজন হবে তা $[R_0 = 8.31 \text{ J mol}^{-1} \text{ K}^{-1}]$
(A) 300 J (B) 370 J (C) 373.95 J (D) 400 J।
- 11 আদর্শ গ্যাস সম্পর্কে নিম্নলিখিত উক্তিগুলির মধ্যে কোন্টি ঠিক নয় ?
(A) একই গ্যাসের সকল অণুগুলি সদৃশ কিন্তু বিভিন্ন গ্যাসের অণুগুলি পরস্পর থেকে বিভিন্ন,
(B) একই গ্যাসের সকল অণুগুলি সদৃশ নয় কিন্তু বিভিন্ন গ্যাসের অণুগুলি পরস্পরের সদৃশ,
(C) গ্যাসের অণুগুলি পরস্পরের প্রতি অথবা পাত্রের দেওয়ালের প্রতি কোনো অভিকর্ষীয় বল প্রয়োগ করে না,
(D) গ্যাসের অণুগুলি পরস্পরের প্রতি অথবা দেওয়ালের প্রতি আকর্ষণ বল প্রয়োগ করে।
- 12 নির্দিষ্ট পরিমাণ গ্যাসে যে অসংখ্য অণু থাকে তাদের ভিতর নির্দিষ্ট উষ্ণতায় সর্বাধিক সংখ্যক অণু যে বেগে গতিশীল থাকে সেই বেগকে বলা হয়
(A) r.m.s. গতিবেগ (B) সর্বাপেক্ষা সম্ভাব্য গতিবেগ
(C) গড় গতিবেগ (D) গড় বর্গ গতিবেগ।
- 13 একটি 1 লিটার ফ্লাস্কে 10^{25} অক্সিজেন অণু আছে। প্রতিটি অণুর ভর $2.7 \times 10^{-28} \text{ kg}$ এবং গড় বর্গবেগের বর্গমূল মান $4 \times 10^2 \text{ ms}^{-1}$ । ফ্লাস্কের চাপ হবে
(A) $14.4 \times 10^4 \text{ Nm}^{-2}$ (B) $15.4 \times 10^4 \text{ Nm}^{-2}$
(C) $16.4 \times 10^4 \text{ Nm}^{-2}$ (D) $17.4 \times 10^4 \text{ Nm}^{-2}$ ।
- 14 একটি পাত্র A-তে হাইড্রোজেন গ্যাস এবং দ্বিগুণ আয়তনের অপর একটি পাত্র B-তে সমভরের অক্সিজেন গ্যাস আছে। গ্যাস দুটির তাপমাত্রা সমান। গ্যাস অণু দুটির r.m.s. গতিবেগের অনুপাত হবে
(A) 1:4 (B) 4:1 (C) 1:2 (D) 2:1।
- 15 শব্দ তরঙ্গের ক্ষেত্রে কোন্ ঘটনা ঘটে না ?
(A) প্রতিসরণ (B) স্থানান্তরজা উৎপাদন (C) সমবর্তন (D) অপবর্তন।
- 16 দুটি সরল দোলতরঙ্গের সমীকরণ নিম্নরূপ (i) $y_1 = 0.30 \sin(314t - 1.57x)$ এবং (ii) $y_2 = 0.10 \sin(314t - 1.57x + 1.57)$ । তরঙ্গ দুটির দশাপার্থক্য
(A) 30° (B) 90° (C) 45° (D) 60° ।
- 17 কোনো জড় পদার্থের সাহায্য না নিয়ে শূন্য মাধ্যমের ভিতর তড়িচ্চুম্বকীয় তরঙ্গ চলাচল করতে পারে। এই উক্তি
(A) প্রায় সত্য (B) প্রায় অসত্য (C) অসত্য (D) সত্য।
- 18 তীক্ষ্ণগ্র পরিবাহীকে তড়িৎপ্রস্তু করলে পরিবাহী নিম্নলিখিত ক্রিয়া প্রদর্শন করে না
(A) তড়িৎ মোক্ষণ ক্রিয়া (B) তড়িৎ সেচন ক্রিয়া
(C) তড়িৎ সংগ্রাহক ক্রিয়া (D) তড়িৎপর্দার ক্রিয়া।
- 19 আহিত পরিবাহীর আধান ধরে রাখতে হলে পরিবাহীর আকার হওয়া উচিত
(A) তীক্ষ্ণগ্র প্রান্ত সমন্বিত অসম আকার (B) বর্গাকার
(C) সম্পূর্ণ গোলাকার (D) আয়তাকার।

- 20 একটি তড়িতাহিত ফাঁপা পরিবাহীর অভ্যন্তরে
 (A) ক্ষেত্র প্রাবল্য ও বিভব উভয়ই শূন্য,
 (B) ক্ষেত্রপ্রাবল্য শূন্য কিন্তু বিভব অভ্যন্তরের সকল বিন্দুতে সমান,
 (C) বিভব শূন্য কিন্তু ক্ষেত্র প্রাবল্য অভ্যন্তরের সকল বিন্দুতে সমান,
 (D) অভ্যন্তরে সকল বিন্দুতে প্রাবল্য ও বিভব পরস্পরের সমান।
- 21 দুটি ফাঁপা পরিবাহীকে ধনাত্মক তড়িতে আহিত করা হল। ছোটটির বিভব 50 V এবং বড়োটির বিভব 100 V। ছোটো পরিবাহীকে বড়োটির অভ্যন্তরে রেখে তার দিয়ে যুক্ত করলে কোন্‌দিকে তড়িৎ প্রবাহ হবে ?
 (A) বড়োটি থেকে ছোটোটিতে,
 (B) ছোটোটি থেকে বড়োটিতে,
 (C) কোনো প্রবাহ হবে না,
 (D) একবার বড়োটি থেকে ছোটোটিতে পরে ছোটোটি থেকে বড়োটিতে।
- 22 কোনো তড়িৎক্ষেত্রে তড়িৎবিভব (V_x) কেবলমাত্র x -এর উপর নির্ভর করে এবং $V(x) = ax - b.x^3$ যেখানে a এবং b ধ্রুবক। x -অক্ষের যে স্থানে তড়িৎ প্রাবল্যের মান শূন্য হবে তা
 (A) $x = \sqrt{\frac{a}{3b}}$ (B) $x = \sqrt{\frac{3b}{a}}$ (C) $x = \sqrt{\frac{a}{b}}$ (D) $x = \left(\frac{a}{b}\right)^2$
- 23 নিম্নলিখিত বৈশিষ্ট্যগুলির মধ্যে কোনটি তড়িৎ বলরেখার বেলায় প্রযোজ্য নয় ?
 (A) বলরেখাগুলি প্রসারিত স্থিতিস্থাপক সূতোর মতো দৈর্ঘ্য বরাবর সংকুচিত হবার চেষ্টা করে
 (B) বলরেখাগুলি পরস্পরকে ছেদ করে,
 (C) বলরেখাগুলি পরিবাহীকে সমকোণে স্পর্শ করে,
 (D) বন্ধ পরিবাহীর অভ্যন্তরে বলরেখা থাকে না।
- 24 দুটি আধানের ভিতরকার দূরত্ব বৃদ্ধি করলে তাদের তড়িৎ স্থিতিশক্তি
 (A) বৃদ্ধি পায় (B) হ্রাস পায়
 (C) একই থাকে (D) বাড়তেও পারে কমেতেও পারে।
- 25 একটি পরিবাহীর তড়িতাধান Q , বিভব-বৃদ্ধি V এবং ধারকত্ব C । তাহলে
 (A) $C = \frac{Q}{V}$ (B) $Q = \frac{C}{V}$ (C) $V = \frac{Q}{C}$ (D) $Q.V = C$
- 26 একটি গোলকের ব্যাসার্ধ 1 cm; ঐ গোলকের ধারকত্ব 1 ফ্যারাড করতে হলে তার ব্যাসার্ধ হবে
 (A) 9×10^{11} cm (B) 9×10^{10} cm (C) 9 m (D) 9×10^2 m.
- 27 পৃথিবীর 6400 km ব্যাসার্ধের একটি সম্পূর্ণ গোলক মনে করলে তার ধারকত্ব মাইক্রোফ্যারাড এককে হবে ($4\pi\epsilon_0 = \frac{1}{9 \times 10^9}$)
 (A) 70 mF (B) 75 mF (C) 71.1 mF (D) 72 mF.
- 28 একটি সাবান জলের বদুবদুকে তড়িতাহিত করা হল। বায়ুতে ভাসমান অবস্থায় বদুবদুটি আয়তনে প্রসারিত হতে থাকলে তার তড়িৎবিভব এবং ধারকত্বের কি পরিবর্তন হবে ?
 (A) ধারকত্ব বৃদ্ধি পায় ; বিভব হ্রাস পায়,
 (B) ধারকত্ব হ্রাস পায় ; বিভব বৃদ্ধি পায়,
 (C) ধারকত্ব এবং বিভবের কোনো পরিবর্তন হয় না,
 (D) ধারকত্ব ও বিভব উভয়ই বৃদ্ধি পায়।

- 29 দুটি একই রকম ধাতব প্লেটকে Q_1 এবং Q_2 ($Q_1 > Q_2$) ধনাত্মক আধান দেওয়ার পর তাদের খুব কাছাকাছি এনে, C ধারকত্বের একটি সমান্তরাল প্লেট ধারক গঠন করা হল। প্লেট দুটির বিভবভেদ
(A) $(Q_1 + Q_2)/2C$ (B) $(Q_1 + Q_2)/C$ (C) $(Q_1 - Q_2)/2C$ (D) শূন্য।
- 30 দুটি অন্তরিত ধাতব গোলকের ব্যাসার্ধ r এবং $2r$ । এদের এমনভাবে তড়িতাধান দেওয়া হল যে তাদের আধানের তলমাত্রিক ঘনত্ব (σ) সমান। গোলক দুটিকে সরু তার দিয়ে যুক্ত করলে, বড়ো গোলকটির আধানের তলমাত্রিক ঘনত্ব হবে
(A) $\frac{1}{3} \sigma$ (B) $\frac{2}{3} \sigma$ (C) $\frac{6}{5} \sigma$ (D) $\frac{5}{6} \sigma$ ।
- 31 R রোধের তারের ভিতর দিয়ে i অ্যাম্পিয়ার তড়িৎ প্রবাহ গেলে, উদ্ভূত তাপের হার নির্ভর করে
(A) R^2 -এর সমানুপাতে, (B) R -এর সমানুপাতে,
(C) i^2 -এর সমানুপাতে, (D) i -এর সমানুপাতে।
- 32 প্রবাহমাত্রা এবং সময় অপরিবর্তিত থাকলে, পরিবাহীতে উদ্ভূত তাপ
(A) দৈর্ঘ্যের সমানুপাতিক কিন্তু প্রস্থচ্ছেদের ব্যস্তানুপাতিক,
(B) দৈর্ঘ্যের ব্যস্তানুপাতিক কিন্তু প্রস্থচ্ছেদের সমানুপাতিক,
(C) দৈর্ঘ্য ও প্রস্থচ্ছেদ উভয়ের সমানুপাতিক,
(D) দৈর্ঘ্য ও প্রস্থচ্ছেদ উভয়ের ব্যস্তানুপাতিক।
- 33 দুটি তারের উপাদান ও ভর সমান কিন্তু একটির দৈর্ঘ্য অপরটির দ্বিগুণ। সমভোল্টেজে এ দুই তারে উৎপন্ন তাপের অনুপাত হবে
(A) 4:1 (B) 1:4 (C) 2:3 (D) 3:2
- 34 বিভিন্ন তাপতড়িৎ ক্রিয়ার মধ্যে কোন্টিতে একটি মাত্র ধাতু ব্যবহার করা হয় ?
(A) সীবেক ক্রিয়া (B) পেলটিয়ার ক্রিয়া (C) টমসন ক্রিয়া (D) জুল ক্রিয়া।
- 35 একটি 220V – 60 W কার্বন ফিলামেন্ট বাল্বকে একটি 220V – 60W ধাতু নির্মিত ফিলামেন্ট বাল্বের সাথে শ্রেণি সমবায়ে যুক্ত করে সমবায়ের প্রাপ্তদ্বয়কে 220V মেইনসের সাথে যুক্ত করা হল। এ অবস্থায়
(A) প্রথমে কিছু সময় দুটি বাতিই সমান উজ্জ্বলতায় জ্বলবে কিন্তু পরে ধাতব ফিলামেন্ট বাল্ব অধিকতর উজ্জ্বলভাবে জ্বলবে
(B) প্রথমে কিছু সময় দুটি বাতিই সমান উজ্জ্বলতায় জ্বলবে কিন্তু পরে কার্বন ফিলামেন্ট বাল্ব অধিকতর উজ্জ্বলভাবে জ্বলবে
(C) প্রথম থেকেই দুটি বাল্ব সমান উজ্জ্বল হয়ে জ্বলবে
(D) প্রথম থেকেই দুটির বাল্বের একটি জ্বলবে না।
- 36 একটি তাপযুগ্মে শীতল প্রবাহের তাপমাত্রা হ্রাস করলে তাপযুগ্মের নিরপেক্ষ তাপমাত্রা এবং উৎক্রম তাপমাত্রার কি পরিবর্তন হবে ?
(A) উভয়ই হ্রাস পাবে, (B) উভয়ই বৃদ্ধি পাবে,
(C) নিরপেক্ষ তাপমাত্রা ঠিক থাকবে উৎক্রম তাপমাত্রা বেশি হবে,
(D) নিরপেক্ষ তাপমাত্রা বেশি হবে, উৎক্রম তাপমাত্রা ঠিক থাকবে।
- 37 একটি উত্তাপক যন্ত্রকে 250 volt- এ কাজ করালে 1000 watt ক্ষমতা ব্যয় হয়। ঐ যন্ত্রকে 200 volt সরবরাহ লাইনে লাগিয়ে একই ওয়াট ব্যয় করতে যন্ত্রের উত্তাপক তারের শতকরা কীরূপ পরিবর্তন প্রয়োজন ?
(A) 36% হ্রাস (B) 36% বৃদ্ধি (C) 40% হ্রাস (D) 40% বৃদ্ধি।

38. তুঁতের দ্রবণের (CuSO_4 soln.) তড়িৎ বিশ্লেষণ করলে
 (A) অ্যানোড থেকে তামা ক্যাথোডে জমা হয়,
 (B) ক্যাথোড থেকে তামা অ্যানোডে জমা হয়,
 (C) উভয় প্রেটেই তামা জমা হয়,
 (D) কোনো প্রেটেই তামা জমা হয় না।
39. নিম্নলিখিত কার্যগুলির মধ্যে কোনটিতে তড়িৎবিশ্লেষণ প্রক্রিয়া প্রযোজ্য নয় ?
 (A) খাতব পদার্থের অ্যানোডাইজ করণ (B) আকরিক থেকে ধাতু নিষ্কাশন
 (C) স্টোরেজ কোশকে আহিত করণ (D) তড়িৎ প্রলেপন।
40. নিম্নলিখিত নিয়মগুলির মধ্যে কোনটিকে মোটর নিয়ম বলা হয় ?
 (A) অ্যাম্পিয়ারের সন্তরণ নিয়ম (B) ফ্লেমিং-এর বাম হস্ত নিয়ম
 (C) ফ্লেমিং-এর দক্ষিণ হস্ত নিয়ম (D) বৃন্দাজুষ্ঠ নিয়ম।
41. দুটি সমান্তরাল ঋজু তার দিয়ে প্রবাহ গেলে তারা পরস্পরকে বিকর্ষণ করে যখন
 (A) দুটি প্রবাহ একমুখী, (B) দুটি প্রবাহ বিপরীত মুখী,
 (C) দুটি প্রবাহ সমান্তরাল, (D) কোনোটি নয়।
42. একটি তড়িৎগ্রস্ত কণা একটি সুষম চৌম্বক ক্ষেত্রে প্রবেশ করল। নিম্নলিখিত কোন ক্ষেত্রে কণা বল অনুভব করবে ?
 (A) কণার প্রাথমিক গতিপথ চৌম্বকক্ষেত্রের সমান্তরাল হলে,
 (B) প্রাথমিক গতিপথ চৌম্বক ক্ষেত্রের অভিলম্ব হলে,
 (C) প্রাথমিক গতিপথ চৌম্বক ক্ষেত্রের সঙ্গে কোনো কোণে আনত হলে,
 (D) কোন অবস্থাতেই বল অনুভব করবে না।
43. একটি দীর্ঘ সলিনয়েডে তড়িৎপ্রবাহ গেলে, সলিনয়েডের
 (A) অভ্যন্তরে চৌম্বকক্ষেত্র সুষম কিন্তু শূন্য নয়,
 (B) বাইরে ক্ষেত্র অসম কিন্তু শূন্য নয়,
 (C) অভ্যন্তরে ক্ষেত্র সুষম নয়,
 (D) বাইরে ক্ষেত্র সুষম।
44. যেখানে ভূ-চৌম্বক ক্ষেত্রের অনুভূমিক উপাংশ $2 \times 10^{-5} \text{ T}$ সেখানে একটি বৃত্তাকার কুণ্ডলী দিয়ে কত তড়িৎপ্রবাহ পাঠালে কেন্দ্রে ওই উপাংশের কোনো প্রভাব থাকবে না ? কুণ্ডলীর পাক সংখ্যা 100 এবং ব্যাসার্ধ 5 cm.
 (A) 20 mA (B) 10 mA (C) 15 mA (D) 15.9 mA.
45. কোনো কুণ্ডলীতে তড়িৎপ্রবাহের পরিবর্তনের হার একক হলে, আবিষ্ট তড়িচ্চালক বল হবে
 (A) কুণ্ডলীর স্বাবেশাক্ষের সমান,
 (B) কুণ্ডলীর সাথে জড়িত চৌম্বক ফ্লাক্সের সমান,
 (C) কুণ্ডলীর পাক সংখ্যার সমান,
 (D) কুণ্ডলীর বেধের সমান।
46. l দৈর্ঘ্যের একটি কাচদণ্ড v গতিবেগ নিয়ে B চৌম্বক ক্ষেত্রের ভিতর গতিশীল আছে। দণ্ডে আবিষ্ট তড়িচ্চালক বল হবে
 (A) $B.lv$ (B) Bl/v (C) $B^2 l^2/v$ (D) শূন্য।

47. অর্ধপরিবাহী বস্তুর উষ্ণতা বৃদ্ধি করলে, তার
 (A) তড়িৎ পরিবাহিতা বৃদ্ধি পায় অথবা রোধ হ্রাস পায়,
 (B) তড়িৎ পরিবাহিতা হ্রাস পায় অথবা রোধ বৃদ্ধি পায়,
 (C) তড়িৎ পরিবাহিতা অথবা রোধ একই থাকে,
 (D) দুটিই একই সঙ্গে বৃদ্ধি পায়।
48. জেনার ডায়োড ব্যবহৃত হয়
 (A) পরিবর্তি প্রবাহের একমুখীকরণ কাজে, (B) ভোল্টেজ সুস্থিতকরণ কাজে,
 (C) সংকেত বিবর্ধন কাজে, (D) কোনোটিই নয়।
49. সাধারণ নিঃসারক সংযোগ (CE mode) ব্যবস্থায় PNP ট্রানজিস্টারে
 (A) ইনপুট বর্তনী সম্মুখবর্তী বায়াস যুক্ত কিন্তু আউটপুট বর্তনী বিপরীত বায়াস যুক্ত,
 (B) ইনপুট বর্তনী বিপরীত বায়াস যুক্ত কিন্তু আউটপুট বর্তনী সম্মুখবর্তী বায়াস যুক্ত,
 (C) উভয় বর্তনী সম্মুখবর্তী বায়াস যুক্ত,
 (D) উভয় বর্তনী বিপরীত বায়াস যুক্ত।
50. P-N সংযোগে বিভব প্রতিবন্ধক গঠিত হয়
 (A) সংযোগের দু-পাশে গ্রহিতা ও দাতা আয়ন সমাবেশের ফলে,
 (B) সংযোগের দু-পাশে সংখ্যালঘু বাহকের সমাবেশের ফলে,
 (C) সংযোগের দু-পাশে সংখ্যাগুরু বাহকের সমাবেশের ফলে,
 (D) কোনোটিই নয়।

SET 15

1. হাইড্রোজেন পরমাণুর বোর মডেলে ইলেকট্রন নিম্নস্তরের লেভেল থেকে উচ্চস্তরে গেলে তার
 (A) স্থিতিশক্তি হ্রাস পায় কিন্তু গতিশক্তি বৃদ্ধি পায়,
 (B) স্থিতিশক্তি বৃদ্ধি পায় কিন্তু গতিশক্তি হ্রাস পায়,
 (C) স্থিতিশক্তি ও গতিশক্তি উভয়ই হ্রাস পায়,
 (D) স্থিতিশক্তি ও গতিশক্তি উভয়ই বৃদ্ধি পায়।
2. নিউক্লিয় সংযোজনের উদাহরণ
 (A) ইউরেনিয়াম থেকে বেরিয়াম এবং ক্রিপটন উদ্ভব,
 (B) হাইড্রোজেন থেকে হিলিয়াম উদ্ভব,
 (C) U-235 থেকে প্লুটোনিয়াম-235 উদ্ভব,
 (D) হাইড্রোজেন ও অক্সিজেন থেকে জল উৎপাদন।
3. পৃথিবীর চৌম্বক মেরুতে একটি মুক্ত চৌম্বক শলাকা
 (A) উল্লম্ব হবে (B) যে-কোনো দিকে মুখ করে থাকবে
 (C) উল্লম্বের সঙ্গে 45° কোণ করবে (D) ভূসমান্তরাল হবে।
4. বোর মডেলে i^{th} শক্তিস্তর থেকে f^{th} শক্তিস্তরে ইলেকট্রনের সংক্রমণ হলে বিকিরণের কম্পাঙ্ক হবে

- (A) $(E_f - E_i)/h$ (B) $\frac{E_f}{h}$ (C) $\frac{2\pi(E_f - E_i)}{h}$ (D) $(E_f + E_i)/f$

৫. তিরস্চৌম্বক পদার্থের চৌম্বক গ্রহিতা
 (A) উন্মত্ততা বৃদ্ধিতে হ্রাস পায়,
 (B) উন্মত্ততা পরিবর্তনে পরিবর্তিত হয় না,
 (C) উন্মত্ততা বৃদ্ধিতে প্রথমে হ্রাস পায় ; পরে বৃদ্ধি পায়,
 (D) উন্মত্ততা বৃদ্ধিতে বৃদ্ধি পায়।
৬. জুল \times সেকেন্ড কিসের একক ?
 (A) শক্তি (B) ভরবেগ (C) কৌণিক ভরবেগ (D) ক্ষমতা।
৭. তাপমাত্রার 10% বৃদ্ধিতে কোন আর্দ্র গ্যাসের ঘনত্বের হ্রাস হবে (চাপ অপরিবর্তিত আছে)
 (A) 10% (B) 9.1% (C) 11% (D) 12.09%.
৮. ভূপৃষ্ঠ থেকে মুক্তি পাবার জন্য কৃত্রিম উপগ্রহের প্রয়োজনীয় গতিশক্তি এবং পৃথিবীর নিকটবর্তী বৃত্তপথে আবর্তন করার জন্য প্রয়োজনীয় গতিশক্তির অনুপাত হবে
 (A) 1 (B) 2 (C) $\frac{1}{2}$ (D) অসীম।
৯. $5 \times 10^{-3} \text{ kg m}^2$ জড় ভ্রামক যুক্ত একটি চক্রের আবর্তন সেকেন্ডে 20 বার। একে 20 সেকেন্ডে থামানো হল। চক্রের কৌণিক মন্দন
 (A) $\pi \text{ rad s}^{-2}$ (B) $2\pi \text{ rad s}^{-2}$ (C) $4\pi \text{ rad s}^{-2}$ (D) $8\pi \text{ rad s}^{-2}$.
১০. একটি সুযম গোলাকার চক্রে একটি স্থির টর্ক প্রয়োগ করায় তার কৌণিক ভরবেগ 4 সেকেন্ডে J_0 থেকে $4J_0$ হল। টর্কের মান
 (A) $\frac{3}{4} J_0$ (B) $4J_0$ (C) J_0 (D) $12J_0$.
১১. জলের সান্দ্রতাজঙ্ক = 0.01 পইজ। 0.05 cm ব্যাসার্ধের কৈশিক নল দিয়ে যে সর্বাধিক গতিবেগে জল ধারারেখ প্রবাহে প্রবাহিত হতে পারবে তা
 (A) 2 cm s^{-1} (B) 20 cm s^{-1} (C) 200 cm s^{-1} (D) 2000 cm s^{-1} .
- [Hints : $v = \frac{\eta \cdot k}{\rho \cdot r}$; $k =$ রেনল্ড সংখ্যা = 1000]
১২. একটি নক্ষত্র 100 km s^{-1} বেগে পৃথিবী থেকে দূরে সরে যাচ্ছে। আলোর গতিবেগ $3 \times 10^8 \text{ ms}^{-1}$ হলে, ডপলার প্রভাবের দরুন 5700 \AA তরঙ্গ দৈর্ঘ্যের পরিবর্তন হবে
 (A) 0.63 \AA (B) 1.90 \AA (C) 3.80 \AA (D) 5.70 \AA .
১৩. ইয়ং এর যুগ্ম ছিদ্র পরীক্ষায় ছিদ্র দুটির দূরত্ব অর্ধেক করলে এবং ছিদ্র থেকে পর্দার দূরত্ব দ্বিগুণ করলে, বালর প্রস্থ
 (A) অপরিবর্তিত থাকবে (B) অর্ধেক হবে
 (C) দ্বিগুণ হবে (D) চারগুণ হবে।
১৪. একটি স্থানু তরঙ্গের সমীকরণ : $y = 0.8 \cos \left(\frac{\pi x}{20} \right) \sin 200 \pi t$; x সেন্টিমিটারে এবং t সেকেন্ডে। পর পর দুটি নিম্পন্দ বিন্দুর দূরত্ব হবে
 (A) 20 cm (B) 10 cm (C) 40 cm (D) 30 cm
১৫. ভূপৃষ্ঠ থেকে একটি বস্তুকে তার মুক্তিবেগের সমান বেগ দিয়ে নিক্ষেপ করা হল। বায়ু বাধা অগ্রাহ্য করলে বস্তুর গতিপথ হবে
 (A) সরল রেখা (B) অধিবৃত্ত (C) পরাবৃত্ত (D) যে-কোনো একটি।

- 16 একটি ক্ষুদ্র তৈল বিন্দু বায়ু মধ্যে $4 \times 10^{-4} \text{ ms}^{-1}$ প্রান্তিক বেগ নিয়ে নিচে পড়ছে। বায়ুর সান্দ্রতাজঙ্ক $1.8 \times 10^{-5} \text{ N s m}^{-2}$; তেলের ঘনত্ব $= 900 \text{ kg m}^{-3}$ এবং $g = 10 \text{ ms}^{-2}$ হলে, তৈল বিন্দুর ব্যাসার্ধ হবে (বায়ুর ঘনত্ব গ্রাহ্যের মধ্যে নয়)
 (A) $0.95 \times 10^{-6} \text{ m}$ (B) $1.9 \times 10^{-6} \text{ m}$ (C) $19 \times 10^{-6} \text{ m}$ (D) $95 \times 10^{-6} \text{ m}$.
- 17 M ভরের একটি বস্তু ω কৌণিক বেগ নিয়ে একটি অক্ষের চতুর্দিকে ঘুরছে। ওই অক্ষ সাপেক্ষে বস্তুর চক্রগতির ব্যাসার্ধ K। বস্তুর কৌণিক ভরবেগ
 (A) $MK^2\omega^{1/2}$ (B) $MK\omega^2$ (C) $MK\omega$ (D) $MK^2\omega$.
- 18 দুটি গোলকের একটি নিরেট এবং অপরটি ফাঁপা। গোলক দুটির ভর সমান এবং ব্যাস সাপেক্ষে জড়্য ভ্রামক সমান। তাদের ব্যাসার্ধের অনুপাত
 (A) 5 : 3 (B) $\sqrt{3} : \sqrt{5}$ (C) $\sqrt{5} : \sqrt{3}$ (D) 1 : 1.
- 19 2 m দীর্ঘ ও 20,000 পাকযুক্ত একটি বায়ুপূর্ণ সলিনয়েডের প্রস্থচ্ছেদ 10 cm^2 । সলিনয়েডের মধ্যস্থলে আলগাভাবে 10,000 পাকের গৌণকুণ্ডলী জড়ানো আছে। সলিনয়েডের পারস্পরিক আবেশগুণাজঙ্ক M এর মান হবে
 (A) 10.7 mH (B) 11.5 mH (C) 12 mH (D) 12.5 mH.
 [Hints : $M = (\mu_0 n_1 n_2 \alpha) / l$]
- 20 একটি তেজস্ক্রিয় মৌলের বিঘটনে 2 টি α -কণা এবং 3 টি β -কণা নির্গত হয়। নতুন মৌলের A এবং Z-এর মান
 (A) (A + 5), (Z - 1) (B) (A - 5), (Z + 1) (C) (A - 8), (Z - 1) (D) (A - 8), (Z + 1).
- 21 ${}_2\text{He}^4 + {}_7\text{N}^{14} \rightarrow X + {}_1\text{H}^1$ নিউক্লিয় বিক্রিয়ায় নিউক্লিয়াস X হবে
 (A) ${}_8\text{N}^{16}$ (B) ${}_8\text{N}^{17}$ (C) ${}_8\text{O}^{16}$ (D) ${}_8\text{O}^{17}$.
- 22 নিউক্লিয় রিয়াক্টরে ক্যাডমিয়াম দণ্ড ব্যবহার করা হয়
 (A) নিউট্রনের গতি বৃদ্ধির জন্য (B) নিউট্রনের গতি হ্রাস করার জন্য
 (C) কিছু নিউট্রন শোষণের জন্য (D) নিউক্লিয় শক্তি নির্গত করার জন্য।
- 23 'পরমাণুর যে-কোনো দুটি ইলেকট্রনের চারটি কোয়ান্টাম সংখ্যাই এক হতে পারে না' এই উক্তিকে বলা হয়
 (A) বর্জন নীতি (B) অনিশ্চয়তাবাদ নীতি
 (C) হুন্ডস নীতি (D) ম্যাক্সওয়েলের নীতি।
- 24 একটি সাধারণ বৈদ্যুতিক হিটারের কুণ্ডলীর দৈর্ঘ্য অর্ধেক করলে, নির্দিষ্ট পরিমাণ জল ফুটতে
 (A) বেশি সময় লাগবে (B) কম সময় লাগবে
 (C) একই সময় লাগবে (D) তারের রোধকের ওপর সময় নির্ভর করে।
- 25 বৃষ্টির ফোঁটা ভূপৃষ্ঠে পৌঁছবার আগেই স্থির প্রান্তিক বেগ পেয়ে যায় ; কারণ
 (A) ফোঁটাগুলি এতই হালকা যে অভিকর্ষজ ত্বরণ তাদের বেগকে প্রভাবিত করে না
 (B) ফোঁটাগুলির উপর বায়ুর বাধাজনিত বল ফোঁটাগুলির বেগ বাড়ার সঙ্গে বৃদ্ধি পায় এবং অবশেষে তা মহাকর্ষীয় বলকে সাম্যে রাখে,
 (C) বৃষ্টির ফোঁটাগুলির সৃষ্টি হয় মহাশূন্যে যেখানে মহাকর্ষীয় বল খুব নগণ্য,
 (D) বায়ুর বাধাজনিত বল স্থির মানের এবং মহাকর্ষীয় বলকে তৌল (balance) করে।
- 26 শ্রবণযোগ্য শব্দের প্রাবল্যের নিম্নসীমা $10^{-12} \text{ W m}^{-2}$ । এক স্থানে শব্দের প্রাবল্য 10^{-9} W m^{-2} । ডেসিবেলে প্রকাশ করলে দাঁড়াবে
 (A) 10⁹ (B) 30 (C) 60 (D) $\log_{10}(10^9)$.

[Hints : $L = 10 \log_{10} \frac{I}{I_0} \text{ dB}$]

২৭. 1 \AA তরঙ্গদৈর্ঘ্যের X-রশ্মি কোনো কেলাসের তল থেকে প্রতিফলিত হলে, প্রথমে পর্যায়ে glancing কোণ θ হবে [কেলাসের দুই আণবিক তলের ব্যবধান $= 2 \text{ \AA}$]

(A) $\sin \theta = \frac{1}{6}$ (B) $\sin \theta = \frac{1}{4}$ (C) $\sin \theta = \frac{3}{4}$ (D) $\sin \theta = \frac{1}{3}$.

[Hints : $2d \sin \theta = n\lambda$; $d = 2$; $n = 1$; $\lambda = 1$]

২৮. কোন চৌম্বক পদার্থ হিস্টারিসিস ঘটনা প্রদর্শন করে ?

- (A) তিরশ্চৌম্বক (B) পরাচৌম্বক
(C) অয়শ্চৌম্বক (D) (A) এবং (C) দুই-ই।

২৯. সুবেদী যন্ত্র সমূহকে আকস্মিক বহিরাগত চৌম্বক ক্ষেত্র থেকে আড়াল করতে যন্ত্রকে

- (A) লৌহ পাত্রের অভ্যন্তরে রাখতে হবে,
(B) যন্ত্রকে অন্তরিত তার জড়িয়ে তার দিয়ে তড়িৎ প্রবাহ পাঠাতে হবে,
(C) সূক্ষ্ম তামার জাল দিয়ে ঘিরে রাখতে হবে,
(D) অ্যালুমিনিয়াম পাত্রের অভ্যন্তরে রাখতে হবে।

৩০. $2.0 \mu\text{F}$ ধারকত্বের একটি ধারককে 200 volt বিভবে আহিত করার পর তার প্লেট দুটিকে তার দিয়ে যুক্ত করা হল। যে তাপ উৎপন্ন হবে তা

- (A) $4 \times 10^4 \text{ J}$ (B) $4 \times 10^{10} \text{ J}$ (C) $4 \times 10^{-2} \text{ J}$ (D) $2 \times 10^{-2} \text{ J}$.

৩১. একটি আদর্শ অ্যামমিটারের রোধ

- (A) শূন্য (B) অল্প (C) খুব বেশি (D) অসীম।

৩২. সমস্থানিক পরমাণুগুলির

- (A) প্রোটন সংখ্যা সমান কিন্তু নিউট্রন সংখ্যা ভিন্ন,
(B) প্রোটন সংখ্যা ভিন্ন কিন্তু নিউট্রন সংখ্যা সমান,
(C) প্রোটন ও নিউট্রন সংখ্যা সমান,
(D) কোনোটিই না।

৩৩. কোনও স্থানের বিনতি কোণ হল

- (A) ভূচৌম্বক প্রাবল্যের অভিমুখ ও চৌম্বক মধ্যরেখার ভিতরকার কোণ,
(B) ভূচৌম্বক প্রাবল্যের অভিমুখ ও অনুভূমিক রেখার ভিতরকার কোণ,
(C) ভূচৌম্বক প্রাবল্যের অভিমুখ ও ভৌগোলিক মধ্যরেখার ভিতরকার কোণ,
(D) ভূচৌম্বক প্রাবল্যের অভিমুখ ও উল্লম্বরেখার ভিতরকার কোণ।

৩৪. দুহাত ছড়িয়ে এক ব্যক্তি একটি ঘূর্ণায়মান টেবিলের কেন্দ্রে দাঁড়িয়ে আছে। ব্যক্তি তার দুহাত গুটিয়ে নিলে তার জাভা ভ্রামক k গুণ কমে যায়। ফলে, তার কৌণিক বেগ

- (A) পরিবর্তন করে না (B) k গুণ বেড়ে যায়
(C) k গুণ কমে যায় (D) k^2 গুণ কমে যায়।

৩৫. উত্তম পরিবাহীর ক্ষেত্রে পরিবাহী পটি ও ভ্যালেন্স পটির ভিতর শক্তি-ফাঁক (energy gap)

- (A) অসীম (B) প্রশস্ত (C) সরু (D) শূন্য।

৩৬. একটি নিরেট গোলক এবং একটি ফাঁপা গোলকের ব্যাস সমান। তাদের সমান বিভবে আহিত করা হলে

- (A) ফাঁপা গোলকে বেশি আধান থাকবে,
(B) উভয়ের সমান আধান থাকবে,
(C) কেবল ফাঁপা গোলকে আধান থাকবে,
(D) নিরেট গোলকে বেশি আধান থাকবে।

37. একটি বৈদ্যুতিক বাতিতে 60 W 230 V লেখা আছে। এক কিলোওয়াট ক্ষমতার মূল্য Rs 1.25। 8 ঘণ্টা বাতিকে জ্বলালে খরচ হবে
 (A) Rs 1.20 (B) Rs 4 (C) Rs 0.25 (D) Rs 0.60.
38. লঘু সালফিউরিক অ্যাসিড মিশ্রিত জলের ভিতর দিয়ে তড়িৎপ্রবাহ পাঠালে, প্লাটিনাম তড়িদ্বার দুটিতে যে গ্যাস জমা হয় তা
 (A) ক্যাথোডে 1 আয়তন হাইড্রোজেন এবং অ্যানোডে 2 আয়তন অক্সিজেন,
 (B) ক্যাথোডে 2 আয়তন হাইড্রোজেন এবং অ্যানোডে 1 আয়তন অক্সিজেন,
 (C) ক্যাথোডে 1 আয়তন হাইড্রোজেন এবং অ্যানোডে 1 আয়তন অক্সিজেন,
 (D) ক্যাথোডে 1 আয়তন অক্সিজেন এবং অ্যানোডে 1 আয়তন হাইড্রোজেন।
39. কোনো ধাতুর আলোকতড়িৎ প্রারম্ভ তরঙ্গ দৈর্ঘ্য 3000 Å। 2000 Å তরঙ্গদৈর্ঘ্যের আলো ঐ ধাতুর উপর পড়লে
 (A) ইলেকট্রন নির্গত হবে (B) পজিট্রন নির্গত হবে
 (C) প্রোটন নির্গত হবে (D) ইলেকট্রন নির্গত হবে না।
40. একটি সূ্যম চৌম্বক ক্ষেত্রে একটি চুম্বক শলাকারকে সাম্য অবস্থান থেকে 60° বিচ্যুত করতে W কার্য করতে হয়। ঐ অবস্থায় চুম্বক শলাকাকে ধরে রাখতে যে টর্কের প্রয়োজন তা
 (A) $\sqrt{3} W$ (B) $\frac{\sqrt{3}}{2} W$ (C) W (D) $\frac{W}{2}$.
41. কোন্ অবস্থানে g এর মান সবচেয়ে কম?
 (A) পৃথিবীর কেন্দ্রে (B) ভূপৃষ্ঠ থেকে 2 km উর্ধ্বে
 (C) 3 km গভীর খনির নীচে (D) ভূপৃষ্ঠে।
42. একটি তার কুণ্ডলীর পাক সংখ্যা 600 এবং স্বাবেশোজ 108 mH। 500 পাক সংখ্যার আর একটি অনুরূপ কুণ্ডলীর স্বাবেশোজ হবে
 (A) 74 mH (B) 75 mH (C) 76 mH (D) 77 mH.
43. কুরি তাপমাত্রায়
 (A) অয়স্টোম্বক পদার্থ ত্রিস্তোম্বক পদার্থে পরিণত হয়,
 (B) অয়স্টোম্বক পদার্থ অটোম্বক পদার্থে পরিণত হয়,
 (C) অয়স্টোম্বক পদার্থ পরাস্টোম্বক পদার্থে পরিণত হয়,
 (D) পরাস্টোম্বক পদার্থ অয়স্টোম্বক পদার্থে পরিণত হয়।
44. 220 V, 50 Hz A.C. উৎসকে $\frac{7}{22}$ H স্বাবেশ ও 20 Ω রোধের সঙ্গে শ্রেণি সমবায়ে আবদ্ধ করা হল। বর্তমানের প্রবাহমাত্রা
 (A) 11 A (B) 3.5 A (C) $\frac{22}{\sqrt{5}}$ A (D) কোনোটিই না।
- [Hints : $i = \frac{E}{\sqrt{R^2 + (2\pi f L)^2}} = 2.15 A$]
45. 27°C উষ্ণতায় একটি অয়স্টোম্বক পদার্থের চৌম্বক প্রবণতা k। কোন্ তাপমাত্রায় প্রবণতা 0.5 k হবে?
 (A) 600°C (B) 237°C (C) 54°C (D) 327°C.

[Hints : $k \propto \frac{1}{T}$; T = পরম উষ্ণতা]

46. Q আধানকে q এবং $(Q-q)$ আধানে ভাগ করতে হবে যাতে দুই অংশ একটি নির্দিষ্ট দূরত্বে থেকে পরস্পরের উপর সর্বাধিক বিকর্ষণ বল প্রয়োগ করতে পারে। এ অবস্থায় Q এবং q এর ভিতর সম্পর্ক হবে—
 (A) $Q=3q$ (B) $Q=1.5q$ (C) $Q=2q$ (D) $Q=4q$.
47. m ভরের এবং Q তড়িতাধান যুক্ত একটি কণা স্থিরাবস্থা থেকে V বিভব-প্রভেদ অতিক্রম করল। কণার চূড়ান্ত ভরবেগ হবে
 (A) $\frac{mV}{Q}$ (B) $2Q\sqrt{mV}$ (C) $\sqrt{2mQV}$ (D) $\sqrt{\frac{2QV}{m}}$.
48. a বিস্তারের দুটি তরঙ্গ সমাপতিত হয়ে a বিস্তারের লম্ব তরঙ্গ উৎপন্ন করলে, তাদের ভিতর দশাপার্থক্য হবে
 (A) 60° (B) 90° (C) 120° (D) 180°
49. ধারকত্ব সম্বন্ধে নিম্নলিখিত সম্পর্কগুলির মধ্যে কোনটি ঠিক ?
 (A) ধারকত্ব = আধান \times বিভব-প্রভেদ
 (B) আধান = ধারকত্ব \times বিভব-প্রভেদ
 (C) বিভব-প্রভেদ = আধান \times ধারকত্ব
 (D) বিভব-প্রভেদ = ধারকত্ব \times পরা বৈদ্যুতিক ধ্রুবক।
50. মোজলে সূত্রানুযায়ী বেশিষ্টামূলক X-রশ্মির কম্পাঙ্ক ν বিভিন্ন মৌলের পারমাণবিক সংখ্যার (Z) সাথে নিম্নলিখিতভাবে সম্পর্কযুক্ত।
 (A) $\nu^2(Z-b) = k$ (B) $\sqrt{\nu} = k(Z-b)$ (C) $(Z-b) = k\nu$ (D) $\nu = \sqrt{\frac{k-b}{Z}}$.

❀ SET 16 ❀

1. পৃথিবী এবং পৃথিবীর চতুর্দিক আবর্তনকারী একট উপগ্রহের ভিতর মহাকর্ষীয় আকর্ষণ আকস্মাৎ লুপ্ত হলে, উপগ্রহটি
 (A) একই বেগে একই কক্ষপথে ঘুরতে থাকবে,
 (B) একই বেগে কক্ষপথের স্পর্শক বরাবর ছুটে যাবে,
 (C) কক্ষপথে স্থির হয়ে দাঁড়াবে,
 (D) পৃথিবীর দিকে ছুটে আসবে।
2. সমতলে 150 m ব্যাসার্ধের একটি বৃত্তপথে না পিছলে একটি গাড়ি কত সর্বনিম্ন বেগে ঘুরতে পারবে ? ঘর্ষণ গুণাঙ্ক = 0.6
 (A) 60 ms^{-1} (B) 30 ms^{-1} (C) 25.5 ms^{-1} (D) 5 ms^{-1} .
3. t পুরু একটি লোহার প্লেট থেকে R ব্যাসার্ধের একটি গোলাকার চাকতি X কেটে নেওয়া হল।
 4R ব্যাসার্ধের আর একটি গোলাকার চাকতি থেকে কাটা হল $\frac{1}{4}$ পুরু লোহার প্লেট। তাদের জাড্য-ভ্রামক I_X এবং I_Y এর সম্পর্ক হবে,
 (A) $I_Y = 32I_X$ (B) $I_Y = 16I_X$ (C) $I_Y = I_X$ (D) $I_Y = 64I_X$.

- 4 একটি উপগ্রহ একটি গ্রহের খুব নিকটবর্তী কক্ষপথে আবর্তন করছে। গ্রহের গড় ঘনত্ব ρ এবং উপগ্রহের আবর্তনের পর্যায়কাল T ; G মহাকর্ষীয় ধ্রুবক হলে, $T^2 \cdot \rho$ গুণফল সমান হবে,

(A) $\frac{1}{G}$ (B) $\frac{3\pi}{G}$ (C) $\frac{4\pi^2}{G}$ (D) $4\pi^2 \cdot G$

[Hints : $\frac{GMm}{R^2} = mR\omega^2$; $M = \frac{4}{3}\pi R^3 \cdot \rho$ এবং $\omega = \frac{2\pi}{T}$]

- 5 সমোন্নত অবস্থায় গ্যাসে কিছু তাপ সরবরাহ করলে
(A) কিছু বাহ্য কার্য সম্পন্ন হবে,
(B) তাপমাত্রার বৃদ্ধি হবে,
(C) কিছু বাহ্য কার্য সম্পন্ন হবে এবং তাপমাত্রার পরিবর্তন হবে,
(D) গ্যাসের অভ্যন্তরীণ শক্তি বৃদ্ধি পাবে।

- 6 কত উচ্চতা থেকে একট বরফখণ্ড কুয়ার মধ্যে পড়লে তার $\frac{1}{100}$ অংশ গলে যাবে? কুয়ার জলের উষ্ণতা 0°C ; বরফ গলনের লীনতাপ $= 80 \text{ cal g}^{-1}$; $J = 4.2 \text{ Jcal}^{-1}$.
(A) 34.28 m (B) 342.86 m (C) 3.428 m (D) 3428 m.

- 7 একটি প্রক্রিয়ার 100 cal তাপ একটি সংস্থায় সরবরাহ করা হল এবং পরিপার্শ্বের উপর 20 J কার্য করা হল। সংস্থার অভ্যন্তরীণ শক্তি
(A) 400 J বৃদ্ধি পাবে (B) 120 J বৃদ্ধি পাবে (C) 120 cal বৃদ্ধি পাবে (D) 400 J কমে যাবে।

- 8 যখন দুটি সুসঙ্গত (coherent) তরঙ্গ ব্যাতিচার করে তখন
(A) কিছু শক্তি নষ্ট হয়,
(B) কিছু শক্তি লাভ হয়,
(C) শক্তির পুনর্বণ্টন হয় যা সময়ের সাথে পরিবর্তন করে,
(D) শক্তির পুনর্বণ্টন হয় যা সময়ের সাথে পরিবর্তন করে না।

- 9 56 টি সুরশলাকা ক্রমবর্ধমান কম্পাঙ্ক অনুযায়ী সাজানো হল। প্রত্যেকটি তার আগেকার সুরশলাকার সাথে সেকেন্ডে 4 টি স্বরকম্প তৈরি করে। শেষ শলাকা প্রথম শলাকার এক অষ্টক উর্ধ্বে। প্রথম শলাকার কম্পাঙ্ক
(A) 220 Hz (B) 224 Hz (C) $\frac{220}{7}$ Hz (D) 110 Hz.

- 10 একটি অনুনাদী বায়ুস্তম্ভের সম্মুখে 500 Hz কম্পাঙ্কের সুরশলাকা রেখে প্রথম ও দ্বিতীয় অনুনাদী দৈর্ঘ্য হল 17 cm এবং 52 cm। বায়ুতে শব্দের বেগ
(A) 170 ms^{-1} (B) 350 ms^{-1} (C) 520 ms^{-1} (D) 850 ms^{-1}

- 12 পৃথিবীর একটি উপগ্রহের পর্যায়কাল 5 ঘণ্টা। পৃথিবী এবং উপগ্রহের ভিতরকার দূরত্ব পূর্বের দূরত্বের 4 গুণ করলে, নতুন পর্যায়কাল হবে
(A) 10 ঘণ্টা (B) 80 ঘণ্টা (C) 40 ঘণ্টা (D) 20 ঘণ্টা।

- 13 সুযম বৃত্তীয় গতি সম্পন্ন করছে এরূপ একটি কণার কৌণিক ভরবেগ L ; কণার কৌণিক কম্পাঙ্ক দ্বিগুণ এবং গতিশক্তি অর্ধেক করলে, নতুন কৌণিক ভরবেগ হবে

(A) $\frac{L}{4}$ (B) $2L$ (C) $4L$ (D) $\frac{L}{2}$

[Hints : $L = I\omega$; গতিশক্তি $k = \frac{1}{2} I\omega^2$; $\therefore L = \frac{2k}{\omega}$

এখন, $\frac{L_1}{L_2} = \frac{k_1\omega_1}{k_2\omega_2} 2 \times 2 = 4 \therefore L_2 = \frac{L_1}{4}$

- 13 একটি বন্ধ পৃষ্ঠে ϕ_1 তড়িৎফ্লাক্স প্রবেশ করলে এবং ϕ_2 ফ্লাক্স বেরিয়ে গেলে, বন্ধ পৃষ্ঠের অভ্যন্তরে তড়িৎআধানের পরিমাণ

(A) $(\phi_2 - \phi_1) \epsilon_0$ (B) $(\phi_1 + \phi_2) / \epsilon_0$ (C) $(\phi_2 - \phi_1) / \epsilon_0$ (D) $(\phi_1 + \phi_2) \epsilon_0$

- 14 কোনো বস্তুকে বৃত্তাকার পথে সুযম গতিতে পরিভ্রমণ করাতে যে অভিকেন্দ্র বল প্রয়োজন তা নির্ভর করে

(A) বৃত্তপথের ব্যাসার্ধের উপর (B) কেবলমাত্র বস্তুর ভরের উপর

(C) বস্তুর দূতির উপর (D) সব কটির উপর।

- 15 ট্রানজিস্টার প্রয়োগের সাধারণ ক্ষেত্রে

(A) সংগ্রাহক-ভূমি সংযোগে সম্মুখবর্তী বায়াস দেওয়া হয়,

(B) নিঃসারক ভূমি সংযোগে বিপরীত বায়াস দেওয়া হয়,

(C) কোনোটিই ঠিক নয়,

(D) দুটিই ঠিক।

- 16 10 cm ব্যাসার্ধের একটি পরিবাহী গোলককে 10 মাইক্রোকুলম্ব আধান দেওয়া হল। এর সাথে 20 cm ব্যাসার্ধের আর একটি অনাহিত গোলককে স্পর্শ করিয়ে দুটিকে পৃথক করে রাখা হল। গোলক দুটির আধানের তলমাত্রিক ঘনত্বের অনুপাত হবে

(A) 2 : 1 (B) 1 : 1 (C) 4 : 1 (D) 3 : 1

- 17 $C_1 = 2\mu\text{F}$ এবং $C_2 = 3\mu\text{F}$ ধারকদ্বয়ের দুটি ধারককে শ্রেণি সমবায়ে আবদ্ধ করে 10 V বিভব-প্রভেদ দেওয়া হল। C_1 ধারকের প্লেট দুটির ভিতর বিভব প্রভেদ হবে

(A) 2 V (B) 3 V (C) 6 V (D) 4 V

- 18 7 cm এবং 10 cm ব্যাসার্ধের দুটি এককেন্দ্রিক বৃত্তাকার লুপ উল্লম্ব তলে রাখা আছে। এদের ভিতর এরূপ তড়িৎপ্রবাহ যাচ্ছে যে কেন্দ্রে নীট চৌম্বক ক্ষেত্র শূন্য। বাইরের লুপে তড়িৎপ্রবাহ 7 A দক্ষিণাবর্তী হলে, ভিতরের লুপে তড়িৎপ্রবাহ হবে

(A) 1 A দক্ষিণাবর্তী (B) 4.9 A বামাবর্তী (C) 10 A দক্ষিণাবর্তী (D) 49 A বামাবর্তী।

- 19 0–20 mA পাল্লার একটি অ্যামমিটারের রোধ 20 Ω । একে 0–10 V পাল্লার ভোল্টমিটারে পরিণত করতে এর সাথে যে রোধ শ্রেণি সমবায়ে লাগাতে হবে তা

(A) 480 Ω (B) 580 Ω (C) 280 Ω (D) 380 Ω

- 20 গতিশীল তরল প্রবাহের

(A) চাপের জন্য চাপ শক্তি থাকে,

(B) গতির জন্য কেবলমাত্র গতি শক্তি থাকে,

(C) অবস্থানের জন্য কেবলমাত্র স্থিতিশক্তি থাকে,

(D) সব রকম শক্তি থাকে।

- 21 দুটি টানা দেওয়া তার A এবং B এর ব্যাস, টান এবং ঘনত্ব A-র চাইতে B-এর দ্বিগুণ। B এবং A-র কম্পাঙ্কের অনুপাত

(A) 1 : 2 (B) 2 : 1 (C) 4 : 1 (D) 1 : 4

22. ডপলার নীতির দরুন কম্পাঙ্কের পরিবর্তন নির্ভর করে না
 (A) শব্দ উৎসের গতির উপর (B) শ্রোতার গতির উপর
 (C) উৎস কর্তৃক নির্গত কম্পাঙ্কের উপর (D) শ্রোতা এবং উৎসের ভিতর দূরত্বের উপর।
23. r ব্যবধানে থাকা দুটি ইলেকট্রনের (তড়িৎস্থান = e) স্থির তড়িৎ বিভব
 (A) $\frac{e^2}{r}$ (B) $\frac{k.e^2}{r}$ (C) $\frac{k.e^2}{r^2}$ (D) $\frac{k.e^2}{r^3}$
24. বায়ুপূর্ণ একটি সমান্তরাল পাত ধারকের ধারকত্ব $5\mu\text{F}$ । ধারকের প্লেট দুটির ভিতরকার জায়গা পোর্সিলেন দিয়ে ভর্তি করলে ধারকত্ব হয় $60\mu\text{F}$ । পরাবিদ্যুতের আপেক্ষিক ভেদ্যতা
 (A) $\frac{1}{6}$ (B) 6 (C) 9×10^9 (D) কোনোটিই না।
25. কোনো কুণ্ডলীতে আবিষ্ট তড়িচ্চালক বল নির্ভর করে না
 (A) বর্তনীর রোধের উপর (B) কুণ্ডলীর পাক সংখ্যার উপর
 (C) চৌম্বক ফ্লাক্সের পরিবর্তনের উপর (D) সময়ের উপর।
26. একটি বিমানের ডানার দৈর্ঘ্য 35 m । বিমানটি সোজা উত্তর মুখী 90 ms^{-1} বেগে উড়ে যাচ্ছে। $B_0 = 4 \times 10^{-5}\text{ T}$ হলে ডানার দুই প্রান্ত বিন্দুর ভিতর বিভব-প্রভেদ হবে
 (A) 1.26 V (B) 0.103 V (C) 0.126 V (D) 12.6 V
27. কোনো এক স্থানে ভূ-চৌম্বক ক্ষেত্রের অনুভূমিক এবং উল্লম্ব উপাংশ যথাক্রমে $4.5 \times 10^{-5}\text{ T}$ এবং $6 \times 10^{-5}\text{ T}$ । ঐ স্থানের চৌম্বক ক্ষেত্রের মোট প্রাবল্য
 (A) $9 \times 10^{-5}\text{ T}$ (B) $10.5 \times 10^{-5}\text{ T}$ (C) $1.5 \times 10^{-5}\text{ T}$ (D) $7.5 \times 10^{-5}\text{ T}$
28. $10\mu\text{F}$ ধারকত্বের ধারককে ব্যাটারির সাহায্যে 100 volt বিভবে আহিত করা হল। ধারকে সঞ্চিত শক্তি
 (A) 0.05 J (B) 0 (C) 0.1 J (D) 0.2 J
29. হাইড্রোজেন পরমাণুর ইলেকট্রন $n = 2$ কক্ষপথ থেকে $n = 1$ কক্ষপথে সংক্রমণ করলে ইলেকট্রনের গতিশক্তি ও স্থিতিশক্তির নিম্নলিখিত পরিবর্তন হবে
 (A) গতিশক্তি দ্বিগুণ ; স্থিতিশক্তিও দ্বিগুণ, (B) গতিশক্তি চারগুণ ; স্থিতিশক্তি চারগুণ,
 (C) গতিশক্তি চারগুণ ; স্থিতিশক্তি দ্বিগুণ, (D) গতিশক্তি দ্বিগুণ ; স্থিতিশক্তি চারগুণ।
30. ভারতে গৃহস্থ বাড়িতে বিদ্যুৎ সরবরাহ করা হয় 220 V বিভব-প্রভেদে কিন্তু আমেরিকাতে করা হয় 110 V বিভব-প্রভেদে। ভারতে ব্যবহৃত একটি 60 W বাল্বের রোধ R হলে, ঐ বাল্ব আমেরিকাতে ব্যবহার করলে রোধ হবে
 (A) $\frac{R}{4}$ (B) $\frac{R}{2}$ (C) R (D) $2R$
31. ভূপৃষ্ঠে একটি বস্তুর ওজন 1 N ; পৃথিবী 6400 km ব্যাসার্ধের একটি গোলক, মনে করো। ভূপৃষ্ঠ থেকে 600 km উঁচুতে নিয়ে গেলে ঐ বস্তুর ওজন হবে,
 (A) $\frac{3}{32}\text{ N}$ (B) $\left(\frac{3}{35}\right)^2\text{ N}$ (C) $\left(\frac{22}{35}\right)^2\text{ N}$ (D) 1 N
32. একটি তারের প্রস্থচ্ছেদ 0.5 mm^2 এবং রোধাঙ্ক $2.5 \times 10^{-7}\Omega\text{-m}$ । 12 V তড়িচ্চালক বলে কাজ করার উপযোগী 72 W হিটার তৈরি করতে ঐ তারের দৈর্ঘ্য হবে
 (A) 4 cm (B) 40 cm (C) 4 m (D) 40 m

- 33 দুটি কুণ্ডলীর পারস্পরিক আবেশাঙ্ক 0.09 henry. প্রাইমারি কুণ্ডলীতে 6×10^{-3} সেকেন্ডে তড়িৎ প্রবাহ মাত্রা 0 থেকে 20 A-এ পরিবর্তিত হলে, সেকেন্ডারি কুণ্ডলীতে আবিষ্ট গড় তড়িচ্চালক বল হবে
 (A) 120 V (B) 180 V (C) 200 V (D) 300 V.

[Hints : $E_s = M \cdot \frac{dI_p}{dt}$; $M = 0.09 \text{ H}$, $dI_p = (20 - 0) = 20 \text{ A}$]

- 34 শ্রেণি সমবায়ের আবদ্ধ তিনটি সমান রোধক একটি তড়িৎ-চালক বলের উৎসের সাথে যুক্ত করলে 10 W ক্ষমতা ব্যয় হয়। রোধক তিনটিকে সমান্তরালে সমবায়ের যুক্ত করে একই উৎসের সাথে যুক্ত করলে ব্যয়িত ক্ষমতা হবে
 (A) 9 W (B) 10 W (C) 90 W (D) 100 W.

- 35 একটি কুণ্ডলীতে 0.05 সেকেন্ডে প্রবাহমাত্রা +2 A থেকে -2 A-এ পরিবর্তিত হলে কুণ্ডলীতে 8 V তড়িচ্চালক বল আবিষ্ট হয়। কুণ্ডলীর স্বাবেশ গুণাঙ্ক
 (A) 0.2 H (B) 0.4 H (C) 0.8 H (D) 0.1 H.

- 36 দুটি একই রকম ফটো-ক্যাথোডে v_1 এবং v_2 কম্পাঙ্কের আলো আপতিত হল। নির্গত ফটো ইলেকট্রনের (ভর = m) গতিবেগ u_1 এবং u_2 হলে

(A) $u_1^2 - u_2^2 = \frac{2h}{m} (v_1 - v_2)$ (B) $u_1 + u_2 = \left[\frac{2h}{m} (v_1 + v_2) \right]^{1/2}$

(C) $u_1^2 + u_2^2 = \frac{2h}{m} (v_1 + v_2)$ (D) $u_1 - u_2 = \left[\frac{2h}{m} (v_1 - v_2) \right]^{1/2}$.

- 37 R ব্যাসার্ধের একটি পাতলা গোল খোলকে (shell) q তড়িৎ আধান আছে। খোলকের কেন্দ্রে আর একটি আধান Q রাখা হল। খোলকের কেন্দ্র থেকে $\frac{R}{2}$ দূরত্বের এক বিন্দুতে স্থির তড়িৎ বিভব

(A) $\frac{2Q}{4\pi\epsilon_0 R}$ (B) $\frac{2Q}{4\pi\epsilon_0 R} + \frac{2q}{4\pi\epsilon_0 R}$

(C) $\frac{1}{4\pi\epsilon_0 R} (2Q + q)$ (D) $\frac{(q + Q)}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{2}{R}$.

- 38 হাইড্রোজেন পরমাণুর বামার শ্রেণির বর্ণালীতে ক্ষুদ্রতম তরঙ্গদৈর্ঘ্য রিডবার্গ ধ্রুবক সংখ্যা R এর পরিপ্রেক্ষিতে হবে

(A) $\frac{1}{R}$ (B) $\frac{4}{R}$ (C) $\frac{3}{2R}$ (D) $\frac{9}{4R}$.

- 39 দশমিক সংখ্যা 53 দ্বিক সংখ্যায় হবে

(A) 11 11 11 (B) 10 10 10 (C) 10 11 01 (D) 11 01 01.

- 40 একটি দীর্ঘ সলিনয়েডের দৈর্ঘ্য বরাবর মধ্যবিন্দুতে চৌম্বক ক্ষেত্র B । সলিনয়েডের দৈর্ঘ্য দ্বিগুণ এবং তড়িৎপ্রবাহ অর্ধেক করলে নতুন মধ্য বিন্দুতে চৌম্বক ক্ষেত্র হবে প্রায়

(A) B (B) $2B$ (C) $\frac{B}{2}$ (D) $\frac{B}{4}$.

- 41 সবুজ রংয়ের কাচের ভিতর দিয়ে দেখলে লাল ফুল দেখাবে

(A) হলদে (B) লাল (C) সবুজ (D) কালো।

- 42 একটি ফাঁপা গোলাকার তড়িৎগ্রস্ত পরিবাহীর দরুন তড়িৎক্ষেত্র সর্বাধিক হয়
 (A) গোলকের বাইরে (B) গোলকের পৃষ্ঠে
 (C) গোলকের অভ্যন্তরে (D) কেবলমাত্র গোলকের কেন্দ্রে।
- 43 চৌম্বক ক্ষেত্রের অভিলম্বভাবে স্থাপিত তড়িৎবাহী তারের ওপর ক্রিয়ারত বলের অভিমুখ পাওয়া যায়
 (A) ফ্রেমিং-এর বামহস্ত নিয়ম থেকে (B) ফ্রেমিং-এর দক্ষিণ হস্ত নিয়ম থেকে
 (C) ম্যাক্সওয়েলের কর্ক স্ক্রু নিয়ম থেকে (D) অ্যাম্পিয়ারের সম্ভরণ নিয়ম থেকে।
- 44 যখন একটি ইলেকট্রন ও একটি পজিট্রন সংঘাত করে তখন
 (A) মোট ভর শক্তিতে রূপান্তরিত হয়
 (B) মোট ভরের কিছু অংশ শক্তিতে রূপান্তরিত হয়
 (C) ভর শক্তিতে রূপান্তরিত হয় না
 (D) তারা পরস্পরকে বিকর্ষণ করে।
- 45 তরলের ভিতর দিয়ে পাতনশীল ক্ষুদ্র বস্তুর প্রান্তিক বেগ উপস্থিত হয় ; কারণ
 (A) সান্দ্র বল এবং বস্তুর ওজন তরলের উর্ধ্বাঘাত দ্বারা প্রশমিত হয়,
 (B) বস্তুর ওজন প্রশমিত হয় তরলের উর্ধ্বাঘাত এবং সান্দ্রবল দ্বারা,
 (C) $g=0$,
 (D) বস্তুর উর্ধ্বাঘাত সান্দ্রবল ও বস্তুর ওজন অপেক্ষা বেশি।
- 46 সূতোর এক প্রান্তে বাঁধা একটি পাথরখণ্ডকে অনুভূমিক তলে স্থির দ্রুতিতে ঘোরানো হচ্ছে।
 (A) পাথরখণ্ডের গতিশক্তি ক্রমাগত বৃদ্ধি পাবে,
 (B) গতিশক্তি ক্রমাগত হ্রাস পাবে,
 (C) গতিশক্তি স্থির থাকবে,
 (D) অভিকেন্দ্র বল পাথরখণ্ডের উপর কার্য করবে।
- 47 পৃথিবীর উর্ধ্বে কোনো কক্ষপথে পরিভ্রমণ করার জন্য উপগ্রহ প্রয়োজনীয় অভিকেন্দ্র বল পায়
 (A) পৃথিবী উপগ্রহের উপর যে মহাকর্ষীয় আকর্ষণ বল প্রয়োগ করে তা থেকে,
 (B) উপগ্রহের সঙ্গে যে রকেট ইঞ্জিন থাকে তা থেকে,
 (C) সূর্য উপগ্রহের উপর যে মহাকর্ষীয় বল প্রয়োগ করে তা থেকে,
 (D) পৃথিবী থেকে উপগ্রহে যে রেডিও তরঙ্গ পাঠানো হয় তা থেকে।
- 48 $0.05 \times 10^{-3} \text{ kg}$ ভরের একটি বারিবিন্দু স্থির বেগ 10 ms^{-1} নিয়ে পড়ছে। বারিবিন্দুর উপর ক্রিয়ারত সান্দ্রবল হবে প্রায়
 (A) $49 \times 10^{-5} \text{ N}$ (B) শূন্য (C) $49 \times 10^{-4} \text{ N}$ (D) $98 \times 10^{-3} \text{ N}$ ।
- 49 নিম্নলিখিতগুলির মধ্যে স্বরকম্প কোনটির দ্বারা গঠিত হয় ?
 (A) অনুনাদ (B) ব্যাতিচার (C) প্রতিফলন (D) উপরিপাতন।
- 50 নিম্নলিখিত নিউক্লিয় বিক্রিয়ায় Y-এর নির্ভুল প্রতীক কী হবে ? $_{13}\text{Al}^{27} + {}_2\text{He}^4 \rightarrow {}_{15}\text{P}^{30} + \text{Y}$
 (A) $_{-1}e^0$ (B) ${}_1\text{H}^1$ (C) ${}_0n^1$ (D) $_{+1}e^0$ ।

SET 17

- 1 তড়িৎক্ষেত্রে একটি একক ধনাত্মক আধান যে বল অনুভব করে তাকে বলা হয়
(A) ধারকত্ব (B) প্রাবল্য (C) তড়িৎ বিভব (D) কোনোটা না।
- 2 10 cm ব্যাসার্ধের একটি গোলাকার পরিবাহীর কেন্দ্র থেকে 5 cm দূরে তড়িৎ বিভব হবে
(গোলকের তড়িৎআধান 25 esu)
(A) 2 esu (B) 5 esu (C) 2.5 esu (D) 0.5 esu.
- 3 10^{-10} m তরঙ্গ দৈর্ঘ্যের X-রশ্মি, 6800 Å তরঙ্গ দৈর্ঘ্যের লাল আলো এবং 500 m তরঙ্গদৈর্ঘ্যের রেডিওতরঙ্গের মধ্যে কোন প্রাকৃতিক রশ্মি সমান ?
(A) কম্পাঙ্ক (B) শূন্য মাধ্যমে গতিবেগ
(C) শক্তি (D) ভরবেগ।
- 4 হাইড্রোজেন পরমাণুর ভৌমস্তরে শক্তি -13.6 eV। ঐ স্তরে ঐ ইলেকট্রনের গতিশক্তি ও স্থিতিশক্তি
(A) 13.6 eV ; -27.2 eV (B) 27.2 eV ; -13.6 eV
(C) 10.6 eV ; -27.0 eV (D) 27.0 eV ; -10.6 eV.
- 5 একটি তেজস্ক্রিয় মৌলের অর্ধায়ু 28 বছর। ওই মৌলের 15 mg পরিমাণের বিঘটনের হার
(A) $7.11 \times 10^{10} \text{ s}^{-1}$ (B) $7.88 \times 10^{10} \text{ s}^{-1}$ (C) $7.58 \times 10^{10} \text{ s}^{-1}$ (D) 10^{10} s^{-1} .
- 6 ধরো, একটি হালকা গ্রহ খুব ভারী একটি নক্ষত্রের চারিদিকে R ব্যাসার্ধের বৃত্তপথে ঘুরছে। গ্রহের আবর্তনের পর্যায়কাল T ; যদি গ্রহ এবং নক্ষত্রের ভিতর মহাকর্ষীয় আকর্ষণ বল $R^{-5/2}$ এর সঙ্গে সমানুপাতিক হয় তবে
(A) $T^2 \propto R^3$ (B) $T^2 \propto R^{7/2}$ (C) $T^2 \propto R^{3/2}$ (D) $T^2 \propto R^{3.75}$.

[Hints : m = গ্রহের ভর এবং v = গ্রহের বেগ হলে $\frac{mv^2}{R} = k \cdot \frac{1}{R^{5/2}}$ [k = ধ্রুবক]।

$$\therefore v = \sqrt{\frac{k}{mR^{3/2}}} \text{ অথবা } T = \frac{2\pi R}{v} = 2\pi \sqrt{\frac{M}{k} \cdot R^{3/2}} \therefore T^2 \propto R^{7/2}.]$$

- 7 পৃথিবীর সঙ্গে সংশ্লিষ্ট কোনো নির্দেশতন্ত্র
(A) সংজ্ঞা অনুযায়ী জড়ত্বীয় নির্দেশতন্ত্র,
(B) জড়ত্বীয় নির্দেশতন্ত্র হতে পারে না কারণ পৃথিবী সূর্যের চতুর্দিক পরিভ্রমণ করছে,
(C) জড়ত্বীয় নির্দেশতন্ত্র কারণ এই নির্দেশতন্ত্রে নিউটনের গতিসূত্রগুলি প্রযোজ্য হয়,
(D) জড়ত্বীয় নির্দেশতন্ত্র হতে পারে না কারণ পৃথিবী নিজ অক্ষের চতুর্দিকে ঘুরছে।
- 8 ভূসমলয় উপগ্রহ
(A) যে-কোনো অক্ষ সাপেক্ষে ঘুরতে পারে না,
(B) মেরু অক্ষ সাপেক্ষে ঘুরবে,
(C) বিষুবতলে অবস্থিত অক্ষ সাপেক্ষে ঘুরবে,
(D) বিষুব অবস্থানে থাকবে।
- 9 একটি নিরেট এবং একটি ফাঁপা গোলক দুটির ভর, আকৃতি এবং সাইজ সমান। তাদের একই সঙ্গে একটি নততল বরাবর গড়িয়ে পড়তে দেওয়া হল। তাহলে,
(A) ফাঁপা গোলকটি নততলের নীচে আগে পৌঁছাবে,
(B) নিরেট গোলকটি নততলের নীচে আগে পৌঁছাবে,
(C) দুটি গোলকই একসঙ্গে নীচে পৌঁছাবে,
(D) ফাঁপা গোলকটি নিরেট গোলকের সামান্য আগে নীচে পৌঁছাবে।

১০. রিংয়ের আকারের একটি ফ্লাই হুইলের ভর 100 kg এবং ব্যাস 2 m । হুইলটি প্রতি মিনিটে $\frac{300}{k}$ বার আবর্তন করছে। তার
 (A) জড় ভ্রামক 100 kg-m^2 ,
 (B) বৃত্তীয় গতিশক্তি 5 kJ ,
 (C) তার উপর 200 N-m মন্দন টর্ক প্রয়োগ করলে হুইল 5 s সময়ে স্থির হবে,
 (D) তার কৌণিক ভরবেগ $10^3 \text{ kgm}^2\text{s}^{-1}$.
১১. একটি প্রসারিত (stretched) স্প্রিং-য়ের স্থিতিশক্তি সমানুপাতিক হবে
 (A) স্প্রিংয়ের বল ধ্রুবকের বর্গের সঙ্গে (B) প্রসারণের বর্গের সঙ্গে
 (C) বলধ্রুবকের সঙ্গে (D) প্রসারণের সঙ্গে।
১২. একটি প্রগামী তরঙ্গের সমীকরণ $y = 0.25 \text{ cal } (2\pi t - \pi x)$ । বিপরীতগামী আর একটি তরঙ্গ যার বিস্তার প্রদত্ত তরঙ্গের দ্বিগুণ এবং কম্পাঙ্ক প্রদত্ত তরঙ্গের কম্পাঙ্কের অর্ধেক তার সমীকরণ হবে
 (A) $y = 0.5 \cos (\pi t - \pi x)$ (B) $y = 0.5 \cos (\pi t + \pi x)$
 (C) $y = 0.25 \cos (\pi t + 2\pi x)$ (D) $y = 0.5 \cos (2\pi t - 2\pi x)$
১৩. 1 m উঁচু একটি চোঙাকৃতি নলের খোলা মুখের সম্মুখে 340 Hz কম্পাঙ্কের একটি সুরশলাকা কম্পিত হচ্ছে। ধীরে ধীরে নলে জল ঢালা হল। শব্দের গতিবেগ 340 ms^{-1} হলে, জলের কোন্ কোন্ লেভেলে শলাকার শব্দ জোর শোনা যাবে?
 (A) 25 cm ; 75 cm (B) 20 cm ; 80 cm (C) 15 cm ; 85 cm (D) 17 cm ; 83 cm .
১৪. যখন কোনো তরঙ্গ ঘন মাধ্যম দ্বারা প্রতিফলিত হয় তখন তার কোনটি পরিবর্তিত হয়?
 (A) বিস্তার (B) কম্পাঙ্ক (C) তরঙ্গ দৈর্ঘ্য (D) দশা।
১৫. খুব উচ্চ তাপমাত্রা পরিমাপে কোন্ যন্ত্র ব্যবহৃত হয়?
 (A) পারদ থার্মোমিটার (B) গ্যাস থার্মোমিটার
 (C) প্লাটিনাম-রেজিস্ট্যান্স থার্মোমিটার (D) পাইরোমিটার।
১৬. সৌর পৃষ্ঠের প্রতি বর্গ সেন্টিমিটার থেকে $1.5 \times 10^3 \text{ cal s}^{-1}$ হারে শক্তি বিকিরণ হয়। স্টীফান সূত্র প্রযোজ্য ধরে নিলে, সৌর পৃষ্ঠের গড় তাপমাত্রা হবে (স্টীফান ধ্রুবসংখ্যা $= 5.7 \times 10^{-5} \text{ erg cm}^{-2} \text{ K}^{-4} \text{ s}^{-1}$)
 (A) 5492 K (B) 5500 K (C) 5000 K (D) 4050 K .
১৭. আদর্শ গ্যাসের বেলায় আয়তন V , চাপ P এবং পরম তাপমাত্রা T -এর সম্পর্ক হল $P.V = x.T$ । যেখানে x একটি ধ্রুব সংখ্যা। x -এর মান নির্ভর করে
 (A) গ্যাস অণুর ভরের উপর (B) গ্যাস অণুর গড় গতিশক্তির উপর
 (C) P, V এবং T -এর উপর (D) V আয়তন গ্যাসের অণুর সংখ্যার উপর।
১৮. 300 K তাপমাত্রায় হাইড্রোজেন অণুর গড় গতিশক্তি E ; একই তাপমাত্রায় অক্সিজেন অণুর গড় গতিশক্তি হবে
 (A) $E/16$ (B) $E/4$ (C) E (D) $4E$.
১৯. একটি সমান্তরাল পাত ধারকের পাত দুটির ব্যবধান 10 cm এবং প্রত্যেকের ক্ষেত্রফল 2 m^2 । প্রত্যেক পাতে $8.85 \times 10^{-10} \text{ C}$ আধান থাকলে,
 (A) প্লেট দুটির ভিতর যে-কোনো বিন্দুতে তড়িৎক্ষেত্র শূন্য,
 (B) প্লেট দুটির বাইরে তড়িৎ ক্ষেত্র শূন্য,
 (C) প্লেট দুটির ভিতর যে-কোনো বিন্দুর তড়িৎক্ষেত্রে বিন্দুর অবস্থানের ওপর নির্ভরশীল,
 (D) প্লেট দুটির ভিতর সর্বত্র তড়িৎক্ষেত্র সমান।

20. নিম্নলিখিত প্রক্রিয়াগুলির মধ্যে কোনটি প্রত্যাবর্তন নয় ?
 (A) পেলটায়ার ক্রিয়া (B) জুল ক্রিয়া (C) সীবেক ক্রিয়া (D) টমসন ক্রিয়া।
21. অক্সিজেনের পারমাণবিক সংখ্যা 8। অক্সিজেনের যে সমস্থানিকের ভরসংখ্যা 15 তাতে আছে
 (A) 15 টি প্রোটন (B) 8 টি ইলেকট্রন (C) 7 টি প্রোটন (D) 8 টি নিউট্রন।
22. যে অপদ্রব্য মেশালে কেলাসে অতিরিক্ত ইলেকট্রন পাওয়া যায় সেই কেলাসকে বলা হয়
 (A) গ্রহীতা (B) দাতা (C) n-type (D) p-type.
23. শূন্য মাধ্যমে একটি নিরেট গোলক আবর্তন করছে। গোলকের ভর ঠিক রেখে ব্যাসার্ধ বৃদ্ধি করলে, নিম্নলিখিতদের মধ্যে কোনটি পরিবর্তন করবে ?
 (A) জ্যাডামাক (B) কৌণিক ভরবেগ (C) কৌণিক বেগ (D) বৃত্তীয় গতিশক্তি।
24. কোনো তাপগতীয় সংস্থার বেলায় কোন্ উক্তিটি সত্য ?
 (A) সকল প্রক্রিয়ায় অভ্যন্তরীণ শক্তি পরিবর্তিত হয়,
 (B) এনট্রপি একটি অবস্থার অপেক্ষক (state function),
 (C) এনট্রপি পরিবর্তন শূন্য হবে না,
 (D) সমোষ্ণ প্রক্রিয়ায় কৃতকার্য সর্বদা শূন্য।
25. কোনো চাকার আবর্তন বেগ 60 r.p.m. থেকে 360 r.p.m. করতে 484 J কার্যের প্রয়োজন হয়। চাকার জ্যাডামাকের মান
 (A) 1 kgm^2 (B) 0.7 kgm^2 (C) 1.7 kgm^2 (D) 2 kgm^2 .
26. চন্দ্রের কক্ষীয় বেগ শতকরা কত বৃদ্ধি পেলে তা পৃথিবীর অভিকর্ষ ক্ষেত্রের বাইরে চলে যাবে ?
 (A) 41.4% (B) 100% (C) 50% (D) 60%.
27. একটি সমান্তরাল পাত বায়ু ধারকের ধারকত্ব $50 \mu\text{F}$ । কোন তরলে নিমজ্জিত অবস্থায় ধারকত্ব 105 mF । তরলের পরাবৈদ্যুতিক ধ্রুবকের মান
 (A) $\frac{10}{21}$ (B) $\frac{21}{10}$ (C) ∞ (D) 3.1.
28. কোনো তেজস্ক্রিয় মৌলের সক্রিয়তা 9 বৎসরে মূল সক্রিয়তার (I_0) $1/3$ অংশ হলে, আরও 9 বৎসর পরে সক্রিয়তা হবে
 (A) $\frac{I_0}{6}$ (B) I_0 (C) $\frac{2}{3} I_0$ (D) $\frac{I_0}{9}$.
29. 31.4 cm দীর্ঘ একটি চুম্বকিত ইস্পাত তারের মেরুশক্তি 5 cgs একক। তারটিকে অর্ধবৃত্তের আকারে বাঁকালে তার চৌম্বক ভ্রামক হবে
 (A) 150 cgs (B) 100 cgs (C) 200 cgs (D) 250 cgs.
30. চৌম্বক ক্ষেত্রে উদাসীন বিন্দু এরূপ এক বিন্দু যার ভিতর দিয়ে
 (A) প্রচুর বলরেখা চলে যায় (B) কোনো বলরেখা যায় না
 (C) অল্প সংখ্যক বলরেখা যায় (D) বলরেখাগুলি ক্ষেত্রের অভিলম্ব বরাবর যায়।
31. মহাকর্ষ বল এবং স্থির তাড়িতিক বলের নিম্নলিখিত ধর্ম আছে।
 (A) মহাকর্ষ বল সর্বদা আকর্ষক বল ; স্থির তাড়িতিক বল আকর্ষক বা বিকর্ষক দুই হতে পারে,
 (B) উভয়ই দূরত্বের বর্গের ব্যস্তানুপাতিক সূত্র মেনে চলে না,
 (C) উভয়ই কেন্দ্রগ বল (central force) নয়,
 (D) উভয় বলই সংরক্ষী বল।

- 32 একটি ধাতুখণ্ডকে $0.1 \mu\text{C}$ তড়িতাধান দিয়ে 0.2 m ব্যাসার্ধের ফাঁপা ধাতব গোলকের কেন্দ্রে বসানো হল। গোলকের বিভব হবে
 (A) 4500 V (B) 4000 V (C) 5000 V (D) 100 V.
- 33 দুটি একই রকম ধাতব প্লেটকে Q_1 এবং Q_2 ($Q_1 > Q_2$) ধনাত্মক আধান দেওয়ার পর তাদের খুব কাছাকাছি এনে C ধারকত্বের একটি সমান্তরাল প্লেট ধারক গঠন করা হল। প্লেট দুটির ভিতর বিভবপ্রভেদ হবে
 (A) $(Q_1 + Q_2) / 2C$ (B) $(Q_1 + Q_2) / C$ (C) $(Q_1 - Q_2) / C$ (D) $(Q_1 - Q_2) / 2C$.
- 34 সমান ব্যাসার্ধের দুটি তামার গোলকের একটি নিরেট এবং অপরটি ফাঁপা। উভয়কে সমান বিভবে তড়িতাধিত করা হল। কোন্ গোলকে বেশি আধান থাকবে ?
 (A) নিরেট গোলকে (B) ফাঁপা গোলকে
 (C) দুই গোলকে সমান আধান থাকবে (D) ফাঁপা গোলকে কোনো আধান থাকবে না।
- 35 একটি তারে কিছু সময়ব্যাপী তড়িৎপ্রবাহ যাচ্ছে। উদ্ভূত তাপ
 (A) তারের প্রস্থচ্ছেদের ব্যাসানুপাতে পরিবর্তিত হবে,
 (B) প্রস্থচ্ছেদের সমানুপাতে পরিবর্তিত হবে,
 (C) প্রস্থচ্ছেদের বর্গের ব্যাসানুপাতে পরিবর্তিত হবে,
 (D) প্রস্থচ্ছেদের উপর নির্ভর করবে না।
- 36 দুটি পাত্রে সমভরের দুটি তরল A এবং B আছে। তরল দুটির আপেক্ষিক তাপ যথাক্রমে 0.4 এবং 0.8। A তরলে 1Ω রোধের একট বৈদ্যুতিক উত্তাপক এবং B তরলে 2Ω রোধের একট বৈদ্যুতিক উত্তাপক নিমজ্জিত আছে। উত্তাপক দুটিকে শ্রেণি সমবায়ে যুক্ত করে প্রবাহ পাঠালে দুই তরলের তাপমাত্রা বৃদ্ধির হারের অনুপাত হবে
 (A) 1 : 2 (B) 2 : 1 (C) 1 : 1 (D) 1 : 3.
- 37 একটি তাপযুগ্মের সংযোগস্থল দুটির উষ্ণতা স্থির রাখা হল। তাপযুগ্মের রোধ 5Ω এবং তার তড়িচ্চালক বল পোটেনসিওমিটার দিয়ে মেপে দেখা গেল 3.9 mV । একটি 60Ω রোধের মিলি ভোল্টমিটার-কে সরাসরি তাপযুগ্মের সাথে যুক্ত করলে, পাঠ হবে
 (A) 3.6 mV (B) 4.0 mV (C) 3.0 mV (D) 3.5 mV .
- 38 একটি ধাতব তারের কুণ্ডলী একটি অসম চৌম্বক ক্ষেত্রে স্থির অবস্থায় রাখা আছে। কুণ্ডলীতে তড়িচ্চালক বল
 (A) আবিষ্ট হবে না (B) আবিষ্ট হবে
 (C) অসম তড়িচ্চালক বল আবিষ্ট হবে (D) আবিষ্ট হতেও পারে নাও হতে পারে।
- 39 আলোকতড়িৎ ঘটনা আলোর কোয়ান্টাম তত্ত্বকে সমর্থন করে ; কারণ
 (A) আলোর একটি নিম্নতম কম্পাঙ্ক আছে যার কম কম্পাঙ্কের আলো ফটো-ইলেকট্রন নির্গত করতে পারে না,
 (B) ফটোইলেকট্রনের সর্বাধিক গতিশক্তি আলোর কম্পাঙ্কের উপর নির্ভর করে ; তীব্রতার উপর নয়,
 (C) ধাতব প্লেটকে ক্ষীণ আলোকে উত্তাপিত করলেও তৎক্ষণাৎ ইলেকট্রনের নির্গমন হয়,
 (D) ফটো ইলেকট্রনের তড়িতাধান কোয়ান্টায়িত।

40 ঋণাত্মক বিটা বিঘটনের সময়

- (A) পারমাণবিক ইলেকট্রন নির্গত হয়,
 (B) নিউক্লিয়াসে উপস্থিত ইলেকট্রন নির্গত হয়,
 (C) নিউক্লিয়াসস্থিত একটি নিউট্রন বিঘটিত হয়ে ইলেকট্রন নির্গত করে,
 (D) নিউক্লিয়াসের বন্ধনশক্তির কিছু অংশ ইলেকট্রনে রূপান্তরিত হয়।

41 একটি তড়িচ্চালক উৎস একটি ঋজু পরিবাহী তারে বৈদিক থেকে ডান দিকে স্থির প্রবাহমাত্রা পাঠাচ্ছে। উৎসকে সুইচ অফ করলে আবিষ্ট প্রবাহ

- (A) ডানদিক থেকে বাঁ দিকে যাবে (B) বৈদিক থেকে ডান দিকে যাবে
 (C) প্রবাহ বন্ধ হয়ে যাবে (D) কোনোটাই না।

42 বিপরীত বায়াসযুক্ত $p-n$ জংশানে গহ্বরের নীট প্রবাহ হবে

- (A) n -অঞ্চল থেকে p -অঞ্চলে (B) p -অঞ্চল থেকে n -অঞ্চলে
 (C) উভয় দিকে (D) কোনো প্রবাহই হবে না।

43 দুটি একই রকম টানা দেওয়া তার এক সজো কম্পিত হলে সেকেন্ডে 6 টি স্বরকম্প তৈরি হয়। যে-কোনো একটি তারের টান সামান্য পরিবর্তন করলে, সেকেন্ডে একই সংখ্যক স্বরকম্প তৈরি হয়। T_1 উচ্চ টান এবং T_2 নিম্নটান হলে, উক্ত পরিবর্তনের সময়

- (A) T_2 কমানো হয়েছিল (B) T_2 বাড়ানো হয়েছিল
 (C) T_1 বাড়ানো হয়েছিল (D) T_2 কমানো হয়েছিল।

44 একটি মাইক্রো অ্যামমিটারের রোধ $100\ \Omega$ এবং পুরো স্কেল পাল্লা $50\ \mu A$ । যন্ত্রটিকে ভোল্টমিটার রূপে অথবা উচ্চতর পাল্লার অ্যামমিটার রূপে ব্যবহার করা যাবে যদি তার সজো একটি রোধ যুক্ত করা হয়। রোধ এবং পাল্লার নিম্নলিখিত জোড়গুলির কোনটি ঠিক?

- (A) $50\ V$ পাল্লা ; $10\ k\Omega$ রোধ শ্রেণি সমবায়ে,
 (B) $10\ V$ পাল্লা ; $200\ k\Omega$ রোধ শ্রেণি সমবায়ে,
 (C) $5\ mA$ পাল্লা ; $1\ \Omega$ রোধ সমান্তরাল সমবায়ে,
 (D) $10\ mA$ পাল্লা ; $1\ \Omega$ রোধ সমান্তরাল সমবায়ে।

45 P-N জংশনে বিপরীত বায়াস দিতে গেলে P এবং N অঞ্চলকে ব্যাটারির সাথে নিম্নলিখিতভাবে যুক্ত করতে হবে

- (A) P-অঞ্চলকে নেগেটিভ মেরু এবং N অঞ্চলকে পজিটিভ মেরু,
 (B) P অঞ্চলকে পজিটিভ মেরু এবং N-অঞ্চলকে নেগেটিভ মেরু,
 (C) দুই অঞ্চলকেই পজিটিভ মেরুতে,
 (D) দুই অঞ্চলকেই নেগেটিভ মেরুতে।

46 $+x$ অভিমুখ গতিশীল একটি তরঙ্গের বিস্তার $y = \frac{1}{1+x^2}$ যখন $t=0$ আবার $y = \frac{1}{1+(x-1)^2}$

যখন $t=2$ সেকেন্ড। x এবং y মিটারে মাপা হল। তরঙ্গের বেগ হবে

- (A) $1\ ms^{-1}$ (B) $0.5\ ms^{-1}$ (C) $1.5\ ms^{-1}$ (D) $2\ ms^{-1}$ ।

47 $2000\ \text{\AA}$ তরঙ্গদৈর্ঘ্যের ফোটনের শক্তি এবং $4000\ \text{\AA}$ তরঙ্গ দৈর্ঘ্যের ফোটনের শক্তির অনুপাত হবে

- (A) $\frac{1}{4}$ (B) 4 (C) $\frac{1}{2}$ (D) 2।

- 48 M ভর এবং R ব্যাসার্ধের একটি সুখম পাতলা চাকতি তার কেন্দ্রগত উল্লম্ব অক্ষ বরাবর ω কৌণিক বেগে ঘুরছে। একই মাত্রার কিন্তু $\frac{M}{4}$ ভরের আর একটি চাকতিকে সমান্তরীয়ভাবে প্রথম চাকতির উপর আস্তে বসানো হল। সমগ্র সংস্থার বর্তমান কৌণিক গতিবেগ

(A) $\frac{2\omega}{\sqrt{5}}$ (B) $\frac{\sqrt{5}\omega}{2}$ (C) $\sqrt{5}\omega$ (D) $\frac{1}{2}\omega$.

- 49 নিউট্রনের অর্ধায়ু 700 সেকেন্ড। একটি নিউট্রন স্রোত 0.327 eV গতিশক্তি নিয়ে চলছে। নিউট্রন স্রোত 10 cm দূরত্ব থাকার মধ্যে যে অংশ বিঘটিত হবে তা

(A) 1.72×10^{-6} (B) 1.70×10^{-6} (C) 1.6×10^{-6} (D) 1.71×10^{-5} .

- 50 পরমাণুর বোর মডেলে, n th কোয়ান্টাম কক্ষপথে ইলেকট্রনের গতিবেগ

(A) n^2 এর সঙ্গে ব্যস্তানুপাতিক (B) পরমাণুর Z-এর সমানুপাতিক
(C) n -এর সমানুপাতিক (D) h -এর সমানুপাতিক।

SET 18

- 1 একটি মোটর গাড়ি একটি উত্তল সেতুর উপর দাঁড়িয়ে আছে। ঐ একই সেতুর উপর দিয়ে গাড়িটি গতিশীল হলে,

(A) তার ওজন পূর্বের ওজন অপেক্ষা কম হবে,
(B) বেশি হবে,
(C) ওজনের কোনো পরিবর্তন হবে না,
(D) তার ওজন শূন্য হবে।

- 2 একটি হুইলের উপর স্থির মানের টর্ক ক্রিয়া করছে। স্থিরাবস্থা থেকে হুইলটি t সেকেন্ডে n বার আবর্তন করছে। তার কৌণিক ত্বরণ

(A) $\frac{4\pi}{nt^2} \text{ rad s}^{-2}$ (B) $\frac{4\pi n}{t^2} \text{ rad s}^{-2}$ (C) $\frac{4\pi t}{n} \text{ rad s}^{-2}$ (D) 0.

- 3 0.4 m বাহুযুক্ত একটি বর্গাকার ফ্রেমের চার কোণায় এবং কেন্দ্রে যথাক্রমে 2 kg, 5 kg, 6 kg, 3 kg এবং 40 kg ভর বসানো আছে। ফ্রেমের তলের অভিলম্বভাবে এবং কেন্দ্রের ভিতর দিয়ে গত এক অক্ষের সাপেক্ষে 0.45 Nm টর্ক প্রয়োগ করে ফ্রেমকে ঘোরানো হচ্ছে। ফ্রেমের কৌণিক ত্বরণ হবে

(A) $\frac{\pi}{9} \text{ rad s}^{-2}$ (B) $\frac{\pi}{3} \text{ rad s}^{-2}$ (C) $\frac{2\pi}{9} \text{ rad s}^{-2}$ (D) $\frac{5\pi}{9} \text{ rad s}^{-2}$.

- 4 r ব্যাসার্ধ এবং দৈর্ঘ্য প্রতি ভর ρ এরূপ একটি সুখম রিংকে তার নিজ অক্ষ বেড়ে ω কৌণিক বেগে আবর্তন করানো হচ্ছে। রিংয়ের বিস্তৃতির (extension) জন্য যে অতিরিক্ত টান ক্রিয়া করবে তা

(A) $\rho \cdot r^2 \omega^2$ (B) $\rho \cdot r \omega^2$ (C) $\rho \cdot r^2 \omega$ (D) $\rho^{1/2} \cdot r^2 \cdot \omega^2$.

- 5 একটি বক্রপথ γ গতিবেগের জন্য r ব্যাসার্ধের বক্র ব্যাকিং করা আছে। কোনো গাড়ি γ গতিবেগে ঐ পথে গেলে, রাস্তার অভিলম্ব প্রতিক্রিয়া হয় R। গাড়ির ওজন W হলে,

(A) অভিকেন্দ্র বল হবে W এবং R-এর লম্বির সমান, (B) অভিলম্ব প্রতিক্রিয়া = W,
(C) অভিকেন্দ্র বল = 0, (D) অভিকেন্দ্র বল = W.

- 6 ভূকেন্দ্র থেকে x দূরে থেকে একটি কৃত্রিম উপগ্রহ ভূ-প্রদক্ষিণ করছে। তার বৃত্তাকার কক্ষপথের ব্যাসার্ধ 1% হ্রাস করলে, তার বেগ
(A) 0.5% বৃদ্ধি পাবে (B) 1% বৃদ্ধি পাবে (C) 2% বৃদ্ধি পাবে (D) 3% বৃদ্ধি পাবে।
- 7 ভূপৃষ্ঠ থেকে h উচ্চতায় g -এর মান $\frac{x}{4}$ যেখানে $x =$ ভূপৃষ্ঠে g -এর মান। h -এর মান হবে
(A) R (B) 2R (C) 3R (D) 4R.
- 8 পৃথিবী R ব্যাসার্ধের এবং M ভরের একটি সম্পূর্ণ গোলক। পৃথিবীর নিজ অক্ষের চতুর্দিকে পরিভ্রমণের পর্যায়কাল T; এই অক্ষের সাপেক্ষে পৃথিবীর কৌণিক ভরবেগ
(A) $4\pi MR^2/5T$ (B) $2\pi \times MR^2/T$ (C) $MR^2T/2\pi$ (D) $\pi MR^2/T$.
- 9 কোনো তরল বিন্দুর (drop) উপর সকল প্রকার বাহ্য বল অপসারণ করলে বিন্দুর আকার নির্ভর করে
(A) সান্দ্রতার উপর (B) পৃষ্ঠটানের উপর
(C) অন্তর্নিহিত তাপের উপর (D) আপেক্ষিক গুরুত্বের উপর।
- 10 নির্দিষ্ট আয়তনের একটি বন্ধ পায়ে m ভরের কিছু আদর্শ গ্যাস আছে। গ্যাস অণুর r.m.s. বেগ $= v$ । একই তাপমাত্রায় m ভরের একই গ্যাস পায়ে ঢোকানো হল। এতে চাপ হল 2P। গ্যাস অণুর নতুন r.m.s. বেগ হবে
(A) v (B) $2v$ (C) $\sqrt{2} v$ (D) $\frac{v}{\sqrt{2}}$.
- 11 স্থির আয়তনে নির্দিষ্ট পরিমাণ আদর্শ গ্যাসে তাপ প্রয়োগে চাপ দ্বিগুণ করা হল। এর ফলে
(A) গ্যাস অণুর গড় দ্রুতি দ্বিগুণ হবে (B) গ্যাস অণুর সংখ্যা দ্বিগুণ হবে
(C) গ্যাস অণুর r.m.s. বেগ দ্বিগুণ হবে (D) গ্যাসের অভ্যন্তরীণ শক্তি বৃদ্ধি পাবে।
- 12 নির্দিষ্ট পরিমাণ গ্যাসের আয়তন 4 গুণ বৃদ্ধি করতে হলে
(A) গ্যাসের তাপমাত্রা দ্বিগুণ করতে হবে,
(B) চাপ ঠিক রেখে উষ্ণতা চারগুণ বৃদ্ধি করতে হবে,
(C) তাপমাত্রা ঠিক রেখে চাপ চারগুণ করতে হবে,
(D) চাপ ও তাপমাত্রা দ্বিগুণ করতে হবে।
- 13 আবর্ত প্রক্রিয়ায় (cyclic process) পূর্ণ চক্রে কোন সংস্থার অভ্যন্তরীণ শক্তি
(A) পথের উপর নির্ভর করে (B) আয়তন পরিবর্তনের উপর নির্ভর করে
(C) চাপ পরিবর্তনের উপর নির্ভর করে (D) উষ্ণতা পরিবর্তনের উপর নির্ভর করে।
- 14 এক মোল আদর্শ গ্যাস স্থির চাপে 10 K উষ্ণতা পরিবর্তনের জন্য তাপ নেবে
(A) 198.7 J (B) 215.3 J (C) 124 J (D) 24 J.
- 15 কোনো একটি গ্যাসের বেলায় $\gamma = 1.5$; এই গ্যাসের ক্ষেত্রে
(A) $C_v = 3R$ (B) $C_p = 3R$ (C) $C_p = 5R$ (D) $C_v = 5R$.
- 16 একটি আয়তাকার কৃষ্ণ তলের ক্ষেত্রফল $8 \text{ cm} \times 4 \text{ cm}$ । 127°C উষ্ণতায় এই তল সেকেন্ডে E পরিমাণ শক্তি বিকিরণ করে। এর দৈর্ঘ্য এবং প্রস্থ প্রাথমিক মানের অর্ধেক করলে এবং উষ্ণতা 327° করলে, শক্তি বিকিরণের হার হবে

- (A) $\frac{3}{8} E$ (B) $\frac{81}{16} E$ (C) $\frac{9}{16} E$ (D) $\frac{81}{64} E$.

[Hints : $E = \sigma \times \text{ক্ষেত্রফল} \times T^4$; T বাড়লে $\frac{3}{2}$ এবং ক্ষেত্রফল কমে $\frac{1}{4}$]

- 17 চৌম্বক ক্ষেত্রে রাখা তড়িৎবাহী পরিবাহী সর্বাধিক যান্ত্রিক বল অনুভব করে যখন পরিবাহী
(A) ক্ষেত্রের সমান্তরালে থাকে (B) ক্ষেত্রের সঙ্গে 45° কোণে থাকে
(C) ক্ষেত্রের সঙ্গে লম্বভাবে থাকে (D) কোনোটিই না।
- 18 আইনস্টাইন আলোক-তড়িৎ ঘটনার ব্যাখ্যা করেন নিম্নলিখিত ভিত্তি অনুযায়ী
(A) হাইগেনস্ প্রবর্তিত আলোর তরঙ্গ তত্ত্ব,
(B) ম্যাক্সওয়েলের তড়িৎ-চুম্বকীয় তত্ত্ব,
(C) প্ল্যাঙ্ক প্রবর্তিত আলোর কোয়ান্টাম তত্ত্ব,
(D) নিউটনের আলোক সম্পর্কিত কণা তত্ত্ব।
- 19 একটি ট্রান্সফর্মারে মুখ্য কুণ্ডলীতে 600 পাক আছে এবং 220 volt সরবরাহের সাথে যুক্ত। গৌণ কুণ্ডলী 6.3 V উৎপন্ন করলে, তার পাক সংখ্যা হবে
(A) 2 (B) 4 (C) 19 (D) 57.
- 20 একই কম্পাঙ্কের দুটি শব্দের তীব্রতা যথাক্রমে 10^{-11} এবং 10^{-7} Wm^{-2} । dB এককে এদের পার্থক্য হবে
(A) 10^{-4} (B) 10^4 (C) 40 (D) 4.
- 21 ধারকের শ্রেণি সমবায়ে প্রত্যেক ধারকে সমান ——— থাকে।
(A) আধান থাকে (B) বিভব-প্রভেদ থাকে (C) ধারকত্ব থাকে (D) কোনোটিই না।
- 22 বিন্দু আধান q থেকে r দূরে তড়িৎক্ষেত্র প্রাবল্য হবে
(A) $\frac{qr}{4\pi\epsilon_0}$ (B) $\frac{q.r^2}{4\pi\epsilon_0}$ (C) $\frac{q}{4\pi\epsilon_0 r}$ (D) $\frac{q}{4\pi\epsilon_0 r^2}$.
- 23 নিম্নলিখিত সূত্রগুলির মধ্যে কোনটি দূরত্বের ব্যস্তবর্গ নিয়ম মেনে চলে না ?
(A) কুলম্বের তড়িৎ আকর্ষণ-বিকর্ষণ সূত্র,
(B) নিউটনের মহাকর্ষীয় আকর্ষণ সূত্র,
(C) বিন্দু আধানের জন্য দূরের কোনো বিন্দুতে বিভব সূত্র,
(D) বায়ো-সার্ট সূত্র।
- 24 চলকুণ্ডলী গ্যালভানোমিটার কেন নিয়ম মান্য করে ?
(A) অ্যাম্পিয়ারের নিয়ম (B) ফ্লেমিং-এর বাম হস্ত নিয়ম
(C) লাপলাসের নিয়ম (D) ফ্লেমিং-এর দক্ষিণ হস্ত নিয়ম।
- 25 তড়িৎ-চুম্বকীয় আবেশের বেলায় আবিষ্ট তড়িচ্চালক বলের পরিমাণ ও অভিমুখ পাওয়া যায় যথাক্রমে
(A) অ্যাম্পিয়ার সূত্র ; ল্যাপলাসের সূত্র (B) ওহম সূত্র ; জুল সূত্র
(C) ফ্যারাডে সূত্র ; লেঙ্ক সূত্র (D) লেঙ্ক সূত্র ; ফ্যারাডে সূত্র।
- 26 ট্রানজিস্টার গঠিত হয়
(A) বিভিন্ন ডোপিং সহ p-type এবং n-type অর্ধপরিবাহী দ্বারা,
(B) দুটি n-type অর্ধপরিবাহীর মাঝখানে একটি মাত্র p-type অর্ধপরিবাহী রেখে,
(C) দুটি p-type পরিবাহীর মাঝখানে একটি মাত্র n-type অর্ধপরিবাহী রেখে,
(D) কোনোটিই না।

- 27 একটি সমবিভব রেখা এবং একটি চৌম্বক বলরেখা
 (A) সর্বদা পরস্পরের লম্ব (B) সর্বদা পরস্পরের সমান্তরাল
 (C) পরস্পরের সঙ্গে 45° কোণে আনত (D) পরস্পরকে ছেদ করে না।
- 28 একটি গোলক A-কে আর একটি বৃহত্তর ব্যাসার্ধের ভূ-সংলগ্ন গোলক B দ্বারা সম্পূর্ণ আবৃত করা হল। B গোলকের ব্যাসার্ধ এবং A গোলকের ব্যাসার্ধের অনুপাত $\frac{n}{(n-1)}$; এ অবস্থায় A-গোলকের ধারকত্ব
 (A) n গুণ হ্রাস পায় (B) $(n-1)$ গুণ হ্রাস পায়
 (C) n -গুণ বৃদ্ধি পায় (D) $(n-1)$ গুণ বৃদ্ধি পায়।
- 29 একটি তড়িৎবর্তনীর কোনো বিন্দুতে যে প্রবাহগুলি মিলিত হয় তাদের বীজগাণিতিক সমষ্টি শূন্য। এই উক্তিকে বলা হয়
 (A) কার্সফের দ্বিতীয় সূত্র (B) ফ্যারাডের দ্বিতীয় সূত্র
 (C) তড়িৎবিশ্লেষণের প্রথম সূত্র (D) কার্সফের প্রথম সূত্র।
- 30 300 পাকযুক্ত এবং $25 \text{ cm} \times 10 \text{ cm}$ ক্ষেত্রফলের একটি আয়তাকার তারকুণ্ডলী তার তলের অভিলম্বরূপে গত $4 \times 10^{-2} \text{ T}$ প্রাবল্যের চৌম্বক ক্ষেত্রে 50 cps দ্রুতিতে ঘুরছে। কুণ্ডলীতে আবিষ্ট তড়িচ্চালক বলের সর্বোচ্চ মান হবে
 (A) $3\pi \text{ volt}$ (B) $30\pi \text{ volt}$ (C) $300\pi \text{ volt}$ (D) $3000\pi \text{ volt}$ ।
- 31 ধারকের সমান্তরাল সমবায়ের ফলে, সংস্থার ধারকত্ব ও বিভব যথাক্রমে
 (A) বৃদ্ধি পায় ; হ্রাস পায় (B) বৃদ্ধি পায় ; একই থাকে
 (C) হ্রাস পায় ; বৃদ্ধি পায় (D) কোনো পরিবর্তন হয় না।
- 32 একটি ধারককে আহিত করলে, তার শক্তি
 (A) বিভব-প্রভেদ V -এর সমানুপাতিক হয় (B) ধারকত্ব C -এর সমানুপাতিক হয়
 (C) V^2 -এর সমানুপাতিক হয় (D) C^2 -এর ব্যস্তানুপাতিক হয়।
- 33 একটি সমান্তরাল পাত বায়ু ধারকে দুই প্লেটের দূরত্ব $= d$; এদের মধ্যে x বেধের একটি পরাবৈদ্যুতিক ম্ল্যাব ঢোকাবার ফলে ধারকত্ব দ্বিগুণ হল। পরাবৈদ্যুতিক ধ্রুবক k হবে
 (A) $k = \frac{x}{x-d}$ (B) $k = \frac{2x}{2x-d}$ (C) $k = \frac{2x}{x-2d}$ (D) $k = \frac{x}{x-2d}$ ।
- 34 দুটি অর্গান পাইপ 5°C উষ্ণতায় প্রতি সেকেন্ডে 7 টি স্বরকম্প তৈরি করে। তাপমাত্রা বৃদ্ধি পেয়ে 10°C হলে, স্বরকম্পের সংখ্যা হবে
 (A) $= 7$ (B) < 7 (C) > 7 (D) আরও তথ্য প্রয়োজন।
- 35 একটি সাইরেন চাকতিতে 60 ছিদ্র আছে। সাইরেন প্রতি মিনিটে 420 বার আবর্তন করছে। সাইরেনের শব্দের কম্পাঙ্ক হবে
 (A) 210 Hz (B) 420 Hz (C) $42 \times 10^3 \text{ Hz}$ (D) 0.042 Hz.
- 36 একটি ইঞ্জিনের হুইশেলের শব্দের কম্পাঙ্ক 6 : 5 অনুপাতে পরিবর্তিত হয় যখন ইঞ্জিনটি একজন স্থির শ্রোতাকে অতিক্রম করে চলে যায়। বায়ুতে শব্দের বেগ 330 ms^{-1} হলে ইঞ্জিনের বেগ হবে
 (A) 3 ms^{-1} (B) 30 ms^{-1} (C) 0.33 ms^{-1} (D) 660 ms^{-1} ।
- 37 এক মুখ বন্ধ দুটি অর্গান নলের দৈর্ঘ্য l এবং $l + \Delta l$ । বায়ুতে শব্দের বেগ V হলে প্রতি সেকেন্ডে স্বরকম্প সংখ্যা হবে
 (A) $\frac{V}{4l}$ (B) $\frac{V}{2l}$ (C) $\frac{V}{4l^2} \cdot \Delta l$ (D) $\frac{V}{2l^2} \cdot \Delta l$ ।

- 38 নিউক্লিয়াসের ভরসংখ্যা বৃদ্ধি পেলে, নিউক্লিয়ন প্রতি বন্ধন শক্তি
 (A) বৃদ্ধি পায় (B) হ্রাস পায়
 (C) একই থাকে (D) ভরসংখ্যার মানের উপর নির্ভর করে।
- 39 তেজস্ক্রিয় পদার্থের এক গড় আয়ু সময়ে
 (A) অর্ধেক নিউক্লিয়াস বিঘটিত হয়,
 (B) অর্ধেক নিউক্লিয়াসের কম বিঘটিত হয়,
 (C) অর্ধেক নিউক্লিয়াসের বেশি বিঘটিত হয়,
 (D) সব নিউক্লিয়াস বিঘটিত হয়।
- 40 একটি p-type অর্ধপরিবাহী
 (A) ধনাত্মক তড়িৎগ্ৰস্ত,
 (B) ঋণাত্মক তড়িৎগ্ৰস্ত,
 (C) তড়িৎবিহীন,
 (D) 0K উষ্ণতায় নিস্তড়িৎ কিন্তু উচ্চতাপমাত্রায় তড়িৎগ্ৰস্ত।
- 41 P-N জংশানে নিঃশেষিত স্তর গঠিত হয়
 (A) জংশানের দু-পাশে ধনাত্মক তড়িৎবাহী গহ্বরের সমাবেশে,
 (B) জংশানের দু-পাশে ঋণাত্মক তড়িৎবাহী ইলেকট্রনের সমাবেশে,
 (C) জংশানের একপাশে গহ্বর এবং অন্যপাশে ইলেকট্রনের সমাবেশে,
 (D) দু-পাশেই গহ্বর এবং ইলেকট্রনের সমাবেশে।
- 42 ট্রানজিস্টারের C-E mode-এ ভূসংলগ্ন করা হয়
 (A) সংগ্রাহককে (B) ভূমিকে (C) নিঃসারককে (D) কোনোটিই না।
- 43 ট্রানজিস্টার গঠনে
 (A) দু-পাশে থাকে N টাইপ ; মাঝখানে থাকে P-type কেলাস
 (B) দু-পাশে থাকে P-টাইপ ; মাঝখানে থাকে N-টাইপ কেলাস,
 (C) দু-পাশেই থাকে N-type ও P-type ; মাঝখানে থাকে P-type,
 (D) দু-পাশে N-type ও P-type ; মাঝখানে P type কেলাস।
- 44 নিম্নলিখিতগুলির মধ্যে কোনটিতে গহ্বর তড়িৎ বাহকরূপে কাজ করে ?
 (A) বিশুদ্ধ অর্ধপরিবাহী (B) আয়নিক কঠিন পদার্থ
 (C) P-type অর্ধপরিবাহী (D) ধাতু।
- 45 নিম্নলিখিত উক্তিগুলির মধ্যে কোনটি অসত্য ?
 (A) তাপমাত্রা বৃদ্ধিতে বিশুদ্ধ অর্ধপরিবাহীর রোধ হ্রাস পায়,
 (B) বিশুদ্ধ সিলিকনকে ত্রিযোজী অপদ্রব্য দ্বারা ডোপ করলে p-type অর্ধপরিবাহী পাওয়া যায়,
 (C) n-type অর্ধপরিবাহীতে সংখ্যাগুরু আধান বাহক হল গহ্বর,
 (D) p-n জংশান অর্ধপরিবাহী ডায়োডরূপে কার্য করতে সক্ষম।
- 46 দুটি কুণ্ডলীর ভিতর পারস্পরিক আবেশ গুণাঙ্ক
 (A) কুণ্ডলীর পাক সংখ্যা বৃদ্ধিতে বৃদ্ধি পায়,
 (B) কুণ্ডলীর পাক সংখ্যা বৃদ্ধিতে হ্রাস পায়,
 (C) পাক সংখ্যার উপর নির্ভর করে না,
 (D) কুণ্ডলীর পাক সংখ্যা হ্রাস করলে বৃদ্ধি পায়।

47. যে যন্ত্র তড়িৎশক্তিকে যান্ত্রিক শক্তিতে পরিণত করে তাকে বলা হয়
 (A) জেনারেটর (B) ডায়নামো (C) আবেশ কুণ্ডলী (D) বৈদ্যুতিক মোটর।
48. দুটি বর্তনীর পারস্পরিক আবেশ গুণাঙ্ক 0.09 henry । মুখ্য বর্তনীতে 6×10^{-3} সেকেন্ডে তড়িৎ প্রবাহ 0 থেকে 20 A পরিবর্তন করলে, গৌণ বর্তনীতে যে তড়িচ্চালক বল আবিষ্ট হবে তা
 (A) 120 V (B) 180 V (C) 200 V (D) 300 V.
49. নিম্নলিখিত দুটি উক্তি বিবেচনা করো : (i) চৌম্বক ক্ষেত্রে কোন পরিবাহী গতিশীল হলে তড়িচ্চালক বল আবিষ্ট হয় (ii) চৌম্বক ক্ষেত্রের পরিবর্তনের দ্বারা তড়িচ্চালক বল আবিষ্ট হয়।
 (A) উভয়ই ঠিক (B) (i) নং উক্তি ঠিক (ii) নং নয়
 (C) (ii) নং উক্তি ঠিক (i) নং নয়। (D) উভয়ই ঠিক না।
50. 1 T প্রাবল্যের সুযম চৌম্বক ক্ষেত্রে একটি ছোটো চুম্বক শলাকা আলম্বিত (pivoted) আছে। আর একটি $\sqrt{3}$ T প্রাবল্যের চৌম্বক ক্ষেত্রে প্রথম ক্ষেত্রের অভিলম্বভাবে চুম্বক শলাকার উপর প্রয়োগ করা হল। এতে শলাকা θ কোণে বিক্ষিপ্ত হলে θ -র মান
 (A) 60° (B) 30° (C) 45° (D) 90° .

❀ SET 19 ❀

1. তড়িৎ-চুম্বকীয় তরঙ্গের অস্তিত্ব সর্বপ্রথম কে প্রতিষ্ঠিত করেন ?
 (A) নিউটন (B) ম্যাক্সওয়েল (C) হাইগেনস (D) প্ল্যাঙ্ক।
2. 8 cm ব্যাসের একটি ফাঁপা ধাতব বলকে $-4 \times 10^{-18} \text{ C}$ আধান দেওয়া হল। বলের পৃষ্ঠে বিভব হবে
 (A) -900 V (B) -9000 V (C) -90 V (D) শূন্য।
3. বহির্বিষ্ম থেকে এক ঝাঁক প্রোটন এসে পৃথিবীতে এবং চাঁদে সমান পরিমাণ $+q$ আধান জমা করল। ফলে উভয়ের ভিতর তড়িৎ বিকর্ষণ বল উভয়ের ভিতর মহাকর্ষীয় আকর্ষণ বলকে নাকচ করল। q -এর মান হবে
 (A) $4\pi\epsilon_0 \sqrt{GM_e M_m}$ (B) $\sqrt{4\pi\epsilon_0 GM_e M_m}$
 (C) $\frac{4\pi\epsilon_0 GM_m}{M_e}$ (D) $\frac{\pi\epsilon_0 GM_e}{M_m}$.
4. 5 cm এবং 8 cm ব্যাসার্ধের দুটি গোলককে যথাক্রমে 20 esu এবং 300 esu বিভবে তড়িতাহিত করা হল। তারপর এক গাছা তার দিয়ে তাদের যুক্ত করা হল। গোলক দুটির সাধারণ বিভব হবে
 (A) $\frac{50}{13} \text{ esu}$ (B) $\frac{13}{50} \text{ esu}$ (C) $\frac{340}{13} \text{ esu}$ (D) $\frac{10}{3} \text{ esu}$.
5. নিম্নলিখিতদের মধ্যে কোনটি সমান্তরাল পাত ধারকের ধারকত্ব S.I. এককে প্রকাশ করে ?
 (A) $\frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{K \cdot \alpha}{d}$ (B) $\frac{4\pi\epsilon_0 \cdot K \cdot \alpha}{d}$ (C) $\frac{\epsilon_0 \cdot K \cdot \alpha}{d}$ (D) $\frac{K \cdot \alpha}{\epsilon_0 d}$.
6. $4 \mu\text{F}$ ধারকত্বের একটি সমান্তরাল প্লেট ধারক আছে। প্লেট দুটির দূরত্ব দ্বিগুণ করলে নতুন ধারকত্ব হবে
 (A) $8 \mu\text{F}$ (B) $4 \mu\text{F}$ (C) $2 \mu\text{F}$ (D) 0.

7. একটি তাপযুগ্ম দিয়ে তড়িৎপ্রবাহ পাঠালে এক সংযোগস্থলে তাদের উদ্ভব হল এবং অন্য সংযোগস্থলে তাপের শোষণ হল। এই ঘটনাকে বলা হয়
(A) টমসন ক্রিয়া (B) জুল ক্রিয়া (C) সীবেক ক্রিয়া (D) পেলাটিয়ার ক্রিয়া।
8. কোনো তাপযুগ্মে উদ্ভূত তড়িচ্চালক বল সর্বাধিক মান পেলে, উষ্ণ সংযোগের তাপমাত্রাকে বলা হয়
(A) নিরপেক্ষ তাপমাত্রা (B) উৎক্রম তাপমাত্রা (C) সংকট তাপমাত্রা (D) জুল তাপমাত্রা।
9. সম রোধের দুটি তারকে শ্রেণি সমবায়ে আবদ্ধ করে তাদের ভিতর প্রবাহ পাঠানো হল। কোন নির্দিষ্ট সময়ে
(A) দুটি তারেই সমান পরিমাণ তাপ উদ্ভূত হবে,
(B) দুটি তারে অসমান তাপ উদ্ভূত হতে পারে,
(C) দুটি তারেই সমান তাপমাত্রা বৃদ্ধি হবে,
(D) দুটি তারে সমান তাপমাত্রা বৃদ্ধি না হতেও পারে।
10. 200 volt এ কাজ করে এরূপ দুটি বাতির একটি 200 W এবং অপরটি 100 W ক্ষমতা ব্যয় করে। বাতি দুটিকে শ্রেণি সমবায়ে যুক্ত করে 200 volt মেইনসে লাগানো হল। এই অবস্থায় প্রতিটি বাতি যে ক্ষমতা ব্যয় করবে তা
(A) 200 W ; 40 W (B) 22.2 ; 44.4 W (C) 25 W ; 50 W (D) 22 W ; 44 W.
11. গতিশীল আধান
(A) কেবলমাত্র তড়িৎক্ষেত্র সৃষ্টি করে (B) কেবলমাত্র চৌম্বক ক্ষেত্র সৃষ্টি করে
(C) উভয়ক্ষেত্র সৃষ্টি করে (D) কোনো ক্ষেত্র সৃষ্টি করে না।
12. বৃত্তাকার তার দিয়ে তড়িৎপ্রবাহ হলে বৃত্তের কেন্দ্রে উৎপন্ন চৌম্বক ক্ষেত্র হবে
(A) সুষম (B) সুষম হবে না (C) শূন্য (D) কোনোটাই না।
13. চলকুণ্ডলী গ্যালভানোমিটারের নীতি হল
(A) চুম্বকের উপর তড়িৎপ্রবাহের ক্রিয়া,
(B) তড়িৎপ্রবাহের উপর চুম্বকের ক্রিয়া,
(C) তড়িৎ প্রবাহের উপর তড়িৎ প্রবাহের ক্রিয়া,
(D) চুম্বকের উপর চুম্বকের ক্রিয়া।
14. 100 Ω রোধের গ্যালভানোমিটারের সঙ্গে R Ω রোধ শ্রেণি সমবায়ে আবদ্ধ করলে এটি 0-V পাল্লার ভোল্টমিটার রূপে কাজ করে। এর পাল্লা দ্বিগুণ করতে R-এর সঙ্গে 1000 Ω শ্রেণি সমবায়ে লাগাতে হয়। এ অবস্থায় R-এর মান হবে
(A) 900 Ω (B) 1000 Ω (C) 1100 Ω (D) 800 Ω .
15. l দৈর্ঘ্যের একটি তারকে বৃত্তাকারে বঁকিয়ে i প্রবাহ পাঠানো হল এবং B চৌম্বক প্রাবল্যের চৌম্বক ক্ষেত্রে রাখা হল। কুণ্ডলী সর্বাধিক যে টর্ক অনুভব করবে তা
(A) $\frac{B \cdot i \cdot l^2}{4\pi}$ (B) $\frac{B \cdot i^2 \cdot l}{4\pi}$ (C) $\frac{B^2 \cdot i \cdot l}{4\pi}$ (D) $4\pi \cdot B \cdot i \cdot l^2$.
16. ভূ- চৌম্বক ক্ষেত্রের উল্লম্ব উপাংশ পাওয়া যায় না কেবলমাত্র
(A) চৌম্বক বিষুব রেখায় (B) ভৌগোলিক মেরুদ্বয়ে
(C) চৌম্বক মেরুদ্বয়ে (D) 45° অক্ষাংশে।

- 17 যেখানে চৌম্বক নতি কোণ 45° সেখানে ভূ-চৌম্বক ক্ষেত্রের অনুভূমিক ও উল্লম্ব উপাংশদ্বয়ের অনুপাত
(A) 1 : 2 (B) 1 : 1 (C) 2 : 1 (D) 1 : 3.
- 18 চৌম্বক প্রবণতা ঋণাত্মক হয় কেবলমাত্র
(A) অয়শ্চৌম্বক পদার্থের ক্ষেত্রে (B) পরাচৌম্বক পদার্থের ক্ষেত্রে
(C) তিরশ্চৌম্বক পদার্থের ক্ষেত্রে (D) পরা এবং অয়শ্চৌম্বক পদার্থের ক্ষেত্রে।
- 19 চৌম্বক ক্ষেত্রে যে পদার্থ রাখলে চৌম্বক বলরেখা ঐ পদার্থকে এড়িয়ে যায় তা
(A) পরাচৌম্বক (B) তিরশ্চৌম্বক (C) অয়শ্চৌম্বক (D) নরম লোহা।
- 20 অভিকেন্দ্র বল $= -\frac{k}{R^2}$ এর অধীনে m ভরের একটি বস্তু R ব্যাসার্ধের বৃত্তপথে ঘুরছে। k একটি ধ্রুবসংখ্যা। বস্তুর গতিশক্তি
(A) $\frac{k^2}{R}$ (B) $\frac{k^2}{2R}$ (C) $\frac{k}{2R}$ (D) $\frac{k}{R^2}$.
- 21 পরমাণুর নিউক্লিয়াসের চতুর্দিকে ইলেকট্রনের বৃত্তগতির জন্য অভিকেন্দ্র বল সরবরাহ করে
(A) মহাকর্ষ বল (B) স্থিতিস্থাপক বল (C) তড়িৎবল (D) যান্ত্রিক বল।
- 22 একটি বস্তুর সুস্থম বৃত্তীয় গতি বজায় রাখতে হলে সর্বদা বৃত্তের কেন্দ্রাভিমুখী একটি বল বস্তুর উপর প্রয়োগ করা প্রয়োজন। ঐ বলকে বলা হয়
(A) ঘর্ষণ বল (B) অপকেন্দ্র বল (C) তড়িৎ বল (D) অভিকেন্দ্র বল।
- 23 একটি বস্তুর গতিশক্তি 50% বৃদ্ধি পেল। তার রৈখিক ভরবেগের শতকরা বৃদ্ধি কত হবে ?
(A) 20% (B) 23% (C) 25% (D) 0.
- 24 পৃথিবীর বিষুবরেখায় একটি বস্তুকে (ভর $= m$) সুতোয় বেঁধে খাড়া ঝোলানো হল। R এবং M যথাক্রমে পৃথিবীর ব্যাসার্ধ এবং ভর হলে এবং নিজ অক্ষ সাপেক্ষে পৃথিবীর কৌণিক বেগ ω হলে, সুতোয় টান হবে
(A) $\frac{GMm}{2R^2}$ (B) $\frac{GMm}{R}$ (C) $\frac{GMm}{R^2}$ (D) $\frac{GMm}{R^2} + m\omega^2 R$.
- 25 ভূকেন্দ্র থেকে r দূরের কোনো বিন্দু থেকে একটি বস্তু স্থিরাবস্থা থেকে যাত্রা শুরু করলো। M এবং R যথাক্রমে পৃথিবীর ভর এবং ব্যাসার্ধ হলে, বস্তু যখন ভূপৃষ্ঠে পৌঁছাবে তখন তার বেগ হবে
(A) $\sqrt{\frac{2GM}{R}}$ (B) $\sqrt{\frac{2GM}{R-r}}$ (C) $\sqrt{2GM\left(\frac{1}{R} - \frac{1}{r}\right)}$ (D) শূন্য।
- 26 2 cm ব্যাসের একটি বায়ু বুদবুদ জলের ভিতর দিয়ে মসৃণভাবে 0.2 cms^{-1} প্রান্তিক বেগে উপরে উঠছে। জলের সান্দ্রতাজ্ঞক হবে
(A) $1.09 \times 10^3 \text{ poise}$ (B) $1.09 \times 10^4 \text{ poise}$ (C) $2 \times 10^3 \text{ poise}$ (D) $2 \times 10^4 \text{ poise}$.
- 27 একটি থার্মোমিটারে একটি স্কেল কাটা আছে। বরফ বিন্দু ঐ স্কেল অনুযায়ী -20° এবং স্টিম বিন্দু 180° । ঐ থার্মোমিটারে যখন 5° পাঠ পাওয়া গেল তখন সেলসিয়াস স্কেলে পাঠ হবে
(A) 7.5° (B) 12.5° (C) -7.5° (D) -12.5° .

- 28 কোনো নির্দিষ্ট উষ্ণতায় বাষ্পচাপ
(A) সর্বদা ঐ উষ্ণতায় সংপৃক্ত বাষ্প চাপ অপেক্ষা কম,
(B) সর্বদা ঐ উষ্ণতায় সংপৃক্ত বাষ্প চাপ অপেক্ষা বেশি,
(C) ঐ উষ্ণতায় সংপৃক্ত বাষ্প চাপের সমান,
(D) তরলের প্রকৃতি অনুযায়ী সংপৃক্ত বাষ্প চাপ অপেক্ষা বেশি বা কম হতে পারে।
- 29 যে সকল পদার্থ গলনের ফলে আয়তনে প্রসারিত হয়, চাপ বৃদ্ধি করলে তাদের গলনাঙ্ক
(A) কমে যায় (B) বেড়ে যায়
(C) অপরিবর্তিত থাকে (D) পদার্থের প্রকৃতি অনুযায়ী বাড়তেও পারে, কমেও পারে।
- 30 রাত্রে আকাশ মেঘমুক্ত ও পরিষ্কার থাকলে শিশির
(A) বেশি পড়ে (B) কম পড়ে
(C) বেশিও পড়ে না কমও পড়ে না (D) একটিও না।
- 31 একটি গ্যাসকে $10^6 \text{ dyne cm}^{-2}$ স্থির চাপে 20 লিটার থেকে 10 লিটারে সংকুচিত করা হল।
এতে যে তাপের উদ্ভব হল তা
(A) 10^3 cal (B) $0.24 \times 10^3 \text{ cal}$ (C) $0.3 \times 10^3 \text{ cal}$ (D) $0.34 \times 10^3 \text{ cal}$ ।
- 32 উষ্ণ পৃষ্ঠ যে তাপীয় বিকিরণ নির্গত করে তা
(A) পৃষ্ঠের তাপমাত্রার ওপর নির্ভর করে,
(B) চতুর্পার্শ্বস্থ তাপমাত্রার ওপর নির্ভর করে না,
(C) পৃষ্ঠের প্রকৃতির ওপর নির্ভর করে না,
(D) যে সময় ব্যাপী বিকিরণ নির্গত হয় তার ওপর নির্ভর করে।
- 33 প্রকৃত কৃষ্ণ বস্তু (black body)
(A) সব রকম বিকিরণ শোষণ করে,
(B) কোনো বিকিরণ প্রতিফলিত করে না,
(C) উত্তপ্ত হলে সব রকম বিকিরণ নির্গত করে না,
(D) সর্বদা কালো দেখায়।
- 34 বায়ুমণ্ডলে কোন্ গ্যাসের আধিক্য হলে বিশ্বের উষ্ণীকরণ বেড়ে যায় ?
(A) অক্সিজেন (B) হাইড্রোজেন (C) নাইট্রোজেন (D) নাইট্রাস অক্সাইড।
- 35 একটি অর্গান পাইপ 200 Hz মূলসুর উৎপন্ন করে কম্পিত হচ্ছে। পাইপের
(A) প্রথম উপসুরের কম্পাঙ্ক 400 Hz
(B) প্রথম উপসুরের কম্পাঙ্ক 400 Hz হতে পারে
(C) প্রথম উপসুরের কম্পাঙ্ক 600 Hz
(D) প্রথম উপসুরের কম্পাঙ্ক 600 Hz হতে পারে।
- 36 R ব্যাসার্ধের একটি গোল লুপ তারে i প্রবাহ যাচ্ছে। তারটি $x-y$ তলে আছে এবং লুপের কেন্দ্র মূলবিন্দুতে অবস্থিত। $x-y$ তল দিয়ে গত মোট চৌম্বক ফ্লাক্স হবে
(A) প্রবাহমাত্রা i -এর সমানুপাতিক (B) R-এর সমানুপাতিক
(C) R^2 -এর সমানুপাতিক (D) শূন্য।
- 37 স্বাবেশাঙ্কের S.I. একক হেনরিকে লেখা যেতে পারে
(A) ওয়েবার / অ্যাম্পিয়ার (B) ভোল্ট-সেকেন্ড / অ্যাম্পিয়ার
(C) জুল / (অ্যাম্পিয়ার) 2 (D) ওহম-সেকেন্ড।

- 38 1 অ্যাংস্ট্রম একক কার সমান ?
 (A) 10^{-10} cm (B) 10^{-10} m (C) 10^{-10} km (D) 10 m.
- 39 'রাদারফোর্ড' কিসের একক ?
 (A) শক্তি (B) তেজস্ক্রিয়তা
 (C) আলোক তড়িৎ প্রবাহ (D) চৌম্বক ক্ষেত্র।
- 40 যখন হিলিয়াম পরমাণু তার সব কটি ইলেকট্রন হারায়, তখন তাকে বলা হয়
 (A) প্রোটন (B) ডিউট্রন (C) হিলিয়াম আয়ন (D) আলাফা কণা।
- 41 একটি গতিশীল ইলেকট্রনকে 20 V বিভব দ্বারা গতিহীন করলে, ইলেকট্রনের গতিশক্তি
 (A) 20 eV (B) 20 J (C) 20 MeV (D) 20 kW.
- 42 আলোর গতিবেগ $= c$; কি বেগে কোনো বস্তু গতিযুক্ত হলে তার আপেক্ষিক ভর তার স্থির ভরের তিনগুণ হবে ?
 (A) $\frac{2\sqrt{2}}{3} c$ (B) $\frac{3\sqrt{2}c}{3}$ (C) $\frac{2c}{\sqrt{3}}$ (D) $\frac{3c}{2\sqrt{2}}$.
- 43 একটি ধাতব বস্তুর কার্য অপেক্ষক 4 eV। এই ধাতব তল থেকে ইলেকট্রন নির্গত করার মতো আলোর দীর্ঘতম তরঙ্গদৈর্ঘ্য হবে প্রায়
 (A) 540×10^{-9} m (B) 400×10^{-9} m (C) 340×10^{-9} m (D) 220×10^{-9} m.
- 44 যখন 6 eV শক্তির ফোটন একটি ধাতব তলে আপতিত হয় তখন সর্বাধিক গতিশক্তিযুক্ত নির্গত ইলেকট্রনের শক্তি হয় 4 eV। এক্ষেত্রে নিবৃত্তি বিভব
 (A) 2 volt (B) 4 volt (C) 6 volt (D) 10 volt.
- 45 ফটো-ইলেকট্রনের সর্বাধিক গতিশক্তি এবং আপতিত আলোর কম্পাঙ্কের ভিতর লেখ আঁকলে তা একটি সরল রেখা হয়। ঐ সরলরেখার নতি হবে
 (A) h (B) কার্য অপেক্ষক (C) $\frac{h}{e}$ (D) নিবৃত্তি বিভব।
- 46 কোনো ধাতুর নিবৃত্তি বিভব V_S এবং ফটো ইলেকট্রনের সর্বাধিক গতিবেগ v_{\max} এর সম্পর্ক হবে
 (A) $V_S \propto v_{\max}$ (B) $V_S \propto \frac{1}{v_{\max}}$ (C) $V_S \propto \frac{1}{v_{\max}^2}$ (D) $V_S \propto v_{\max}^2$.
- 47 কোন ধাতব পৃষ্ঠে অতিবেগুনি আলো আপতিত হলে যে কণা নির্গত হয় তা
 (A) ধনাত্মক তড়িৎবাহী প্রোটন (B) তড়িৎবিহীন কণা
 (C) ঋণাত্মক তড়িৎবাহী ইলেকট্রন (D) কোনো কণাই নির্গত হয় না।
- 48 V ভোল্টেজে কাজ করছে এরূপ একটি x-রশ্মি নল থেকে যে সকল x-রশ্মি পাওয়া যায় তাদের মধ্যে ক্ষুদ্রতম তরঙ্গদৈর্ঘ্য হবে
 (A) $\lambda_{\min} = \frac{h.e}{V.c}$ (B) $\lambda_{\min} = \frac{h.c}{eV}$ (C) $\lambda_{\min} = \frac{V.h}{c.e}$ (D) $\lambda_{\min} = \frac{eV}{h}$.
- 49 একটি x-রশ্মি তরঙ্গের তরঙ্গদৈর্ঘ্য 3Å ; তার কম্পাঙ্ক হবে
 (A) 10^{18} Hz (B) 10^{19} Hz (C) 0.5×10^{18} Hz (D) 0.5×10^{19} Hz.
- 50 হাইড্রোজেন পরমাণুর ইলেকট্রনের সর্বনিম্ন কক্ষীয় কৌণিক ভরবেগের মান
 (A) h (B) $\frac{h}{2}$ (C) $\frac{h}{2\pi}$ (D) $\frac{h}{\lambda}$.

SET 20

- 1 যখন কোনো বস্তু সমতলে থেকে এক বিন্দু সাপেক্ষে বৃত্তপথে ঘোরে তখন কৌণিক ভরবেগের ভিমুখ হয়
 (A) ব্যাসার্ধ বরাবর (B) অক্ষ সাপেক্ষে 45° কোণে
 (C) বৃত্তের স্পর্শক বরাবর (D) ঘূর্ণাক্ষ বরাবর।
- 2 কোনো বস্তু সমদ্রুতিতে বৃত্তাকার পথে পরিভ্রমণ করলে, তার ত্বরণের অভিমুখ হবে
 (A) বৃত্তের স্পর্শক বরাবর (B) কেন্দ্রমুখী ব্যাসার্ধ বরাবর
 (C) কেন্দ্রবহির্মুখী ব্যাসার্ধ বরাবর (D) ব্যাসার্ধের সঙ্গে 45° কোণে আনত রেখা বরাবর।
- 3 বৃত্তাকার পথে পরিভ্রমণরত কণার বেলায় তিনটি বল ক্রিয়া করে (i) ব্যাসার্ধমুখী অভিকেন্দ্র বল (F_1) (ii) ব্যাসার্ধবহির্মুখী অপকেন্দ্র বল (F_2) (iii) অপকেন্দ্র প্রতিক্রিয়া (F_3)। এদের সম্পর্ক
 (A) $F_1 > F_2 > F_3$ (B) $F_1 < F_2 < F_3$ (C) $F_1 = F_2 = F_3$ (D) $F_1 > F_2 < F_3$ ।
- 4 একটি বস্তুকে v বেগ দিয়ে প্রক্ষেপ করা হল। ওই বস্তুর মুক্তি বেগ v_e । বস্তুটি বৃত্তপথে পরিভ্রমণ করবে যদি
 (A) $v > v_e$ (B) $v = v_e$ (C) $\frac{v}{\sqrt{2}}$ (D) $v < v_e$ ।
- 5 নিম্নলিখিত উক্তিগুলির মধ্যে কোনটি সত্য ?
 (A) মেরুর তুলনায় বিষুব অঞ্চলে g -এর মান বেশি,
 (B) বিষুব অঞ্চলের তুলনায় মেরু প্রদেশে g -এর মান বেশি,
 (C) সর্বত্র g -এর মান সমান,
 (D) ভূকেন্দ্রে g -এর মান অসীম।
- 6 কতকগুলি সমান্তরাল বল সাম্যাবস্থায় থাকে যখন
 (A) বলগুলির বীজগাণিতিক সমষ্টি শূন্য হয়,
 (B) যে কোনো বিন্দু সাপেক্ষে বলগুলির ভ্রামকের বীজগাণিতিক সমষ্টি হয় শূন্য,
 (C) দুটিই এক সঙ্গে শূন্য হয়,
 (D) কোনোটিই না।
- 7 কোনো তরলের প্রবাহ যদি এরূপ হয় যে সর্বদা প্রবাহের বেগের মান ও অভিমুখ একই থাকে তবে ওই প্রবাহকে বলা হয়
 (A) ধারারেখ প্রবাহ (B) অবিন্যস্ত প্রবাহ
 (C) স্থির প্রবাহ (D) হয় ধারারেখ না হয় স্থির।
- 8 একই প্রস্রাচ্ছেদ যুক্ত বিভিন্ন উপাদানের দুটি স্ল্যাবকে পরপর রাখা হল। তাদের অনুপাত 2 : 1 এবং পরিবাহিতার অনুপাত 2 : 1; সমবায়ের পৃষ্ঠ দুটির তাপমাত্রা 0°C এবং 100°C । স্থিরাবস্থায় আস্ত তলের (interface) তাপমাত্রা হবে
 (A) 80°C (B) 50°C (C) 20°C (D) কোনোটিই নয়।
- 9 গ্যাসের অভ্যন্তরীণ শক্তি বৃদ্ধি বোঝায় যে
 (A) গ্যাস কিছু কাজ করল (B) গ্যাস অণুর গতিশক্তি বৃদ্ধি পেল
 (C) গ্যাসের তাপমাত্রা বাড়ল (D) গ্যাসের তাপমাত্রা কমল।

- 10 একটি সমান্তরাল পাত ধারককে স্থির বিভব প্রভেদের উৎসের সাথে যুক্ত করলে
 (A) উৎস থেকে সংগৃহীত মোট আধান ধারকে সঞ্চিত থাকে,
 (B) উৎস থেকে সংগৃহীত মোট শক্তি ধারকে সঞ্চিত থাকে,
 (C) ধারকের ধারকত্ব হ্রাস পায়,
 (D) ধারকের বিভব-প্রভেদ হয় অসীম।
- 11 দুটি সমান ভরের কণা A এবং B-এর আধানের পরিমাণ q এবং $+4q$ । এরা স্থিরাবস্থা থেকে যদি একই বিভব প্রভেদের ভিতর দিয়ে যায় তবে গতিবেগের অনুপাত $V_A : V_B$ হবে
 (A) 1:2 (B) 2:1 (C) 1:4 (D) 4:1।
- 12 10 cm ব্যাসার্ধের একটি ফাঁপা গোলকে 3.2×10^{-9} কুলম্ব আধান দেওয়া হল। গোলকের কেন্দ্র থেকে 4 cm দূরে তড়িৎপ্রাবল্য হবে
 (A) 2.88 (B) 288 (C) 9×10^{-9} (D) 0.
- 13 যখন কয়েকটি ধারককে শ্রেণি সমবায়ের যুক্ত করা হয়, তখন সমবায়ের মোট ধারকত্ব
 (A) সমবায়ের সর্বাধিক ধারকত্ব যুক্ত ধারক অপেক্ষা বেশি হয়,
 (B) সমবায়ের সর্বনিম্ন ধারকত্ব যুক্ত ধারক অপেক্ষা কম হয়,
 (C) সবকটি ধারকের ধারকত্বের সমষ্টির সমান হয়,
 (D) শূন্য হয়।
- 14 পৃথিবীর তড়িৎ বিভব মনে করা হয়
 (A) শূন্য (B) ঋণাত্মক (C) অসীম (D) ধনাত্মক।
- 15 \vec{u} গতিবেগ নিয়ে একটি ধনাত্মক তড়িৎপ্রবাহ কণা একটি চৌম্বক ক্ষেত্র \vec{B} -এর মধ্যে প্রবেশ করল। কণার চ্যুতি সর্বাধিক হবে যখন \vec{u} এবং \vec{B} -এর ভিতর কোণ
 (A) 0° (B) 45° (C) 90° (D) 180° .
- 16 একটি দীর্ঘ ফাঁপা তামার নলে সম তড়িৎ প্রবাহ (d.c.) গেলে, প্রবাহের দরুন চৌম্বকক্ষেত্র
 (A) কেবল পাইপের অভ্যন্তরে অবস্থান করবে,
 (B) কেবল পাইপের বাইরে অবস্থান করবে,
 (C) বাইরে ও ভেতরে কোথাও অবস্থান করবে না,
 (D) বাইরে এবং ভেতরে অবস্থান করবে।
- 17 একটি প্রোটিন (ভর $= m$; আধান $= e$) এবং একটি আলফা কণা (ভর $= 4m$; আধান $= 2e$) একই গতিশক্তি দিয়ে একটি সুযম চৌম্বক ক্ষেত্রের অভিলম্বের অভিমুখে ছেড়ে দেওয়া হল। নিম্ন লিখিত উক্তিগুলির মধ্যে কোনটি সত্য ?
 (A) আলফা কণা প্রোটিনের চাইতে কম ব্যাসার্ধের বৃত্ত পথে বৈকে যাবে,
 (B) আলফা কণা প্রোটিনের চাইতে বেশি ব্যাসার্ধের বৃত্ত পথে বৈকে যাবে,
 (C) উভয়ে একই ব্যাসার্ধের বৃত্ত পথে বৈকে যাবে,
 (D) উভয় চৌম্বক ক্ষেত্রের ভিতর দিয়ে সোজা পথে চলে যাবে।
- 18 9×10^{-31} kg ভর এবং 1.6×10^{-19} C আধান যুক্ত একটি ইলেকট্রন 10^6 ms^{-1} বেগ নিয়ে একটি চৌম্বক ক্ষেত্রে প্রবেশ করল। ইলেকট্রনটি চৌম্বক ক্ষেত্রে 0.1 m ব্যাসার্ধের বৃত্ত পথে গেলে, চৌম্বক ক্ষেত্রের মান
 (A) 1.8×10^{-4} T (B) 5.6×10^{-5} T (C) 14.4×10^{-5} T (D) 1.3×10^{-6} T.

- 19 দুটি সমান্তরাল তার A এবং B-তে যথাক্রমে 10A এবং 2A বিপরীতমুখী প্রবাহ যাচ্ছে। A তারটির দৈর্ঘ্য অসীম এবং B তারটির দৈর্ঘ্য 2 m। B তার A তার থেকে 10 cm দূরে থাকলে, B তারের উপর কার্যরত বল,

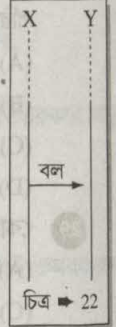
(A) 8×10^{-5} N (B) 4×10^{-7} N (C) 4×10^{-5} N (D) $4\pi \times 10^{-7}$ N.

- 20 একই অভিমুখে একটি তড়িৎ ক্ষেত্রে এবং একটি চৌম্বক ক্ষেত্র কাজ করছে। তাদের সমান্তরালে গতিবেগ দিয়ে একটি ইলেকট্রনকে ওই অঞ্চলে পাঠানো হল। ফলে

(A) ইলেকট্রন দক্ষিণ দিকে বৈকে যাবে,
(B) ইলেকট্রন বাঁ দিকে বৈকে যাবে,
(C) ইলেকট্রনের গতি বেগের মান বৃদ্ধি পাবে,
(D) ইলেকট্রনের গতি বেগের মান হ্রাস পাবে।

- 21 দুটি দীর্ঘ সমান্তরাল তার X এবং Y তে যথাক্রমে 3A এবং 5A প্রবাহ যাচ্ছে। X-তারের প্রতি একক দৈর্ঘ্য বল 5×10^{-5} N দক্ষিণ দিকে (চিত্র 22)। Y তারের প্রতি একক দৈর্ঘ্য বল

(A) 2×10^{-5} N বাঁ দিকে (B) 3×10^{-5} N দক্ষিণ দিকে
(C) 3×10^{-5} N বাঁ দিকে (D) 5×10^{-5} N বাঁ দিকে।



- 22 তড়িদ্বিগ্নেয় ভিতর তড়িৎবাহী কণা

(A) ইলেকট্রন (B) -ve আয়ন
(C) +ve আয়ন (D) +ve এবং -ve আয়ন দুইই।

- 23 একটি তাম্র ভোল্টমিটারে 33V বিভবপ্রভেদ 100 kWh শক্তি ব্যয়িত হল। তাম্র তড়িৎ রাসায়নিক তুল্যাঙ্ক 0.33×10^{-6} kg C⁻¹ হলে মুক্ত তাম্র ভর

(A) 3.6 kg (B) $\frac{3.6}{2}$ kg (C) 1.2 kg (D) 1 kg.

- 24 একটি 25 W - 220 V বাল্ব এবং আর একটি 100W -220V বাল্ব শ্রেণি সমবায়ে আবদ্ধ করে 440V সরবরাহ লাইনে লাগানো হল। কোন্ বাতি পুড়ে যাবে

(A) 100 W বাতি (B) 25 W বাতি (C) কোনোটা পুড়বে না (D) দুটোই পুড়ে যাবে।

- 25 সরু তারের একটি তাপন কুণ্ডলী এবং মোটা তারের একটি তাপন কুণ্ডলী একই পদার্থে তৈরি। তারের দৈর্ঘ্য সমান। কুণ্ডলী দুটিকে একবার শ্রেণি, আরেকবার সমান্তরালে লাগানো হল। নিম্নলিখিত উক্তিগুলির মধ্যে কোনটি সত্য ?

(A) শ্রেণি সমবায়ে সরু তারের কুণ্ডলী বেশি শক্তি মুক্ত করবে ; সমান্তরাল সমবায়ে মোটা তারের কুণ্ডলী বেশি শক্তি মুক্ত করবে,
(B) শ্রেণি সমবায়ে, সরু তার কুণ্ডলী কম এবং সমান্তরাল সমবায়ে বেশি শক্তি মুক্ত করবে,
(C) উভয়ই সমান শক্তি মুক্ত করবে,
(D) শ্রেণি সমবায়ে মোটা তারের কুণ্ডলী বেশি কিন্তু সমান্তরাল সমবায়ে কম শক্তি মুক্ত করবে।

- 26 210 Watt বৈদ্যুতিক বাতি 5 মিনিটে কত তাপ উৎপন্ন করবে ?

(A) 15000 cal (প্রায়) (B) 1050 cal (প্রায়)
(C) 6300 cal (প্রায়) (D) 8000 cal (প্রায়)।

27 একটি সুখম ধাতব তারের দুই প্রান্তে স্থির ভোল্টেজ প্রয়োগ করা হল। ফলে কিছু তাপের উদ্ভব হল। উদ্ভূত তাপ দ্বিগুণ হবে যদি

(A) তারের দৈর্ঘ্য এবং ব্যাসার্ধ দুই-ই অর্ধেক করা যায়,

(B) তারের দৈর্ঘ্য এবং ব্যাসার্ধ দুইই দ্বিগুণ করা যায়,

(C) কেবল মাত্র ব্যাসার্ধ দ্বিগুণ করা যায়,

(D) কেবল মাত্র দৈর্ঘ্য দ্বিগুণ করা যায়।

একটি তারের দৈর্ঘ্য 50 cm। তারটিকে ব্যাটারির সঙ্গে লাগালে তাপের উদ্ভব হয়। সর্বাধিক পরিমাণ তাপ উৎপন্ন হলে কীভাবে তারকে সংযুক্ত করতে হবে ?

(A) তারকে সরাসরি ব্যাটারির সাথে যুক্ত করা

(B) তারকে দু-টুকরো করে টুকরো দুটি সমান্তরালভাবে ব্যাটারির সাথে যুক্ত করা,

(C) তারকে চারটুকরো করে টুকরোগুলিকে সমান্তরালভাবে ব্যাটারির সাথে যুক্ত করা,

(D) কেবল তারের অর্ধেক ব্যাটারির সাথে যুক্ত করা।

29 কোনো কুণ্ডলীতে তড়িৎ প্রবাহ পরিবর্তনের হার একক হলে আবিষ্ট তড়িচ্চালক বল সমান হবে

(A) স্বাবেশ গুণাঙ্কের (B) কুণ্ডলীর সাথে জড়িত চৌম্বক ফ্লাক্সের

(C) কুণ্ডলীর পাক সংখ্যার

(D) কুণ্ডলীর বেধের।

30 চৌম্বক ক্ষেত্রে রাখা একটি পরিবাহীকে চৌম্বক ক্ষেত্রের সমান্তরালে গতিশীল করা হল। পরিবাহীতে

(A) তড়িচ্চালক বল আবিষ্ট হবে

(B) কোনো তড়িচ্চালক বল আবিষ্ট হবে না

(C) পরিবর্তী তড়িচ্চালক বল আবিষ্ট হবে

(D) কোনোটিই না।

31 অনুভূমিক তলে বৃত্তাকার পথে একটি বস্তু সমুদ্রতলে আবর্তন করছে

(A) বস্তুর অভিকেন্দ্র বল বৃত্তের স্পর্শক বরাবর ক্রিয়া করছে,

(B) অভিকেন্দ্র বল ব্যাসার্ধ বরাবর বর্হিমুখী ক্রিয়া করছে,

(C) অভিকেন্দ্র বল ব্যাসার্ধ বরাবর বৃত্তের কেন্দ্রের দিকে ক্রিয়া করছে,

(D) অভিকেন্দ্র বল বৃত্তের স্পর্শক বরাবর ওপর-নীচে লম্বভাবে ক্রিয়া করছে।

32 একটি গোলককে একটি অমসৃণ অনুভূমিক তলে গড়িয়ে দেওয়া হলে গোলকটির গতি ক্রমশ কমে আসে এবং শেষে স্থির হয়। এ ক্ষেত্রে ঘর্ষণ বল

(A) গোলকের রৈখিক বেগ হ্রাস করতে চেষ্টা করে,

(B) কৌণিক বেগ বৃদ্ধি করে,

(C) রৈখিক ভরবেগ বৃদ্ধি করে,

(D) কৌণিক বেগ হ্রাস করে।

33 একটি সুখম গোল চাকতির তলের অভিলম্বভাবে গত একটি রেখাকে অক্ষ করে চাকতি ঘুরলে চক্র গতির ব্যাসার্ধ চাকতির ব্যাসের সমান হয়। এক্ষেত্রে চাকতির কেন্দ্র থেকে অক্ষের দূরত্ব হবে

(A) $\frac{r}{2}$

(B) $\frac{r}{\sqrt{2}}$

(C) $\frac{r}{2\sqrt{2}}$

(D) $\sqrt{2} r$

34 বৃত্তপথে পরিভ্রমণ রত পৃথিবীর কৃত্রিম উপগ্রহের পর্যায় কাল

(A) উপগ্রহের ভরের ওপর নির্ভর করে না, (B) বৃত্তের ব্যাসার্ধের ওপর নির্ভর করে না,

(C) কোনোটিই না,

(D) দুটোই ঠিক।

- 34 কৃত্রিম উপগ্রহের অভ্যন্তরে দণ্ডায়মান কোনো ব্যক্তি নিজেকে ভারশূন্য মনে করে কারণ
 (A) উপগ্রহের অভ্যন্তরস্থ কোনো বস্তুকে পৃথিবী আকর্ষণ করে না,
 (B) ব্যক্তি কর্তৃক প্রদত্ত অভিলম্ব বল পৃথিবীর আকর্ষণকে তৌল (balance) করে,
 (C) অভিলম্ব বল শূন্য,
 (D) উপগ্রহের ভিতর ব্যক্তির কোনো ত্বরণ নেই।
- 35 কঠিন বস্তুর তুলনায় তরল আকৃতি পরিবর্তন করতে পারে কারণ
 (A) কঠিনের তুলনায় তরলের ঘনত্ব কম,
 (B) তরলের তুলনায় কঠিন পদার্থের অণুগুলির ভিতর বল বেশি,
 (C) কঠিন পদার্থে পরমাণুগুলি একসঙ্গে মিলে অপেক্ষাকৃত বড়ো অণু গঠন করে,
 (D) কঠিন পদার্থের অণুগুলির পারস্পরিক গড় দূরত্ব তরলের তুলনায় বেশি।
- 36 তরলপূর্ণ একটি বীকারকে একটি বড়ো বন্দু জারের ভিতর রাখা আছে। জারের ভিতরকার বায়ু পাম্প করে বার করে নিতে থাকলে তরলের তলায় তরল কর্তৃক প্রদত্ত চাপ
 (A) বেড়ে যাবে (B) কমে যাবে
 (C) একই থাকবে (D) প্রথমে কমে, পরে বাড়বে।
- 37 একটি লিফটের ভিতর রাখা ব্যারোমিটারের পাঠ 76 cm যখন লিফট স্থির। লিফট ক্রমবর্ধমান দ্রুতিতে ওপরে উঠতে থাকলে ব্যারোমিটার পাঠ হবে
 (A) শূন্য (B) 76 cm (C) < 76 cm (D) > 76 cm.
- 38 দুটি অবিকল একইরকম নল A এবং B দিয়ে জল প্রবাহ হচ্ছে। A নল দিয়ে কোনো এক সময় V_0 আয়তনের জল প্রবাহিত হল এবং একই সময়ে B নল দিয়ে $2V_0$ আয়তনের জল প্রবাহিত হল। নিম্নলিখিত উক্তিগুলির মধ্যে কোনটি ঠিক হওয়া সম্ভব,
 (A) দুটি নলেই জল প্রবাহ স্থির (steady), (B) দুটি নলেই জল প্রবাহ অস্থির (turbulent),
 (C) A নলে প্রবাহ স্থির B নলে অস্থির, (D) A নলে প্রবাহ অস্থির ও B নলে স্থির।
- 39 পারদের পরিবর্তে জল ব্যবহার করে ব্যারোমিটার তৈরি করলে, প্রমাণ বায়ুচাপে (76 cm পারশুস্ত) জলস্তম্ভের দৈর্ঘ্য হবে
 (A) 1033.6 cm (B) 76 cm (C) 0.76 cm (D) 76 m.
- 40 20 cm দীর্ঘ একটি কৈশিক নলকে জলে ডোবানো হল। নলে জল 8 cm উচ্চে উঠল। সমস্ত ব্যবস্থাকে অব্যাহত রাখা একটি লিফটে রাখলে, নলে জলস্তম্ভের উচ্চতা হবে
 (A) 8 cm (B) 6 cm (C) 10 cm (D) 20 cm.
- 41 একটি সলিনয়েডের ভিতর দিয়ে স্থির প্রবাহ i যাচ্ছে। সলিনয়েডের অক্ষ বরাবর একটি লোহার দণ্ড সলিনয়েডের ভিতর ঢোকানো হল। নিম্নলিখিত রাশিগুলির মধ্যে কোনটি বৃদ্ধি পাবে
 (A) কেন্দ্রে চৌম্বক ক্ষেত্র (B) সলিনয়েডের সাথে জড়িত চৌম্বক ফ্লাক্স
 (C) সলিনয়েডের স্বাবেশ (D) জুল তাপ উৎপাদনের হার।
- 42 একটি ধাতব মিটার স্কেল নিজ দৈর্ঘ্যের অভিলম্ব ভাবে এবং 0.2 T প্রাবল্যের চৌম্বক ক্ষেত্রের অভিলম্বভাবে 2 ms^{-1} গতিবেগে গতিশীল। স্কেলের দুই প্রান্তে যে তড়িচ্চালক বল আবিষ্ট হবে তা
 (A) 0.8 V (B) 0.4 V (C) 0.6 V (D) 1.0 V.
- 44 ট্রান্সফর্মার ব্যবহৃত হয়
 (A) কেবল D.C. বর্তনীতে
 (B) কেবল A.C. বর্তনীতে
 (C) উভয় বর্তনীতে
 (D) D.C. বর্তনী বা A.C. বর্তনীর কোনোটিতেই নয়।

45. তড়িৎচুম্বকীয় তরঙ্গের গতিবেগ কোনটিতে সমান
 (A) সকল তরঙ্গ দৈর্ঘ্যের বেলায় (B) সকল মাধ্যমে
 (C) সকল তীব্রতায় (D) সকল কম্পাঙ্কের বেলায়।
46. ফটো ইলেকট্রিক পরীক্ষায় আপতিত আলোর কম্পাঙ্ক দ্বিগুণ করলে নিবৃত্তি বিভব
 (A) দ্বিগুণ হবে (B) অর্ধেক হবে
 (C) দ্বিগুণের বেশি হবে (D) দ্বিগুণের কম হবে।
47. নিম্নলিখিত অবস্থার ভিতর কোনটিতে দুটি কণার মধ্যে ভারী কণার দ্য ব্রয় তরঙ্গদৈর্ঘ্য অপেক্ষাকৃত কম হবে ? কণাদ্বয় যখন
 (A) একই দ্রুতিতে গতিশীল (B) একই রৈখিক ভরবেগ সহ গতিশীল
 (C) একই গতিশক্তি নিয়ে গতিশীল (D) একই উচ্চতা থেকে পড়ছে।
48. নিম্নলিখিত সংক্রমণগুলির মধ্যে কোনটিতে তরঙ্গ দৈর্ঘ্য সর্বাপেক্ষা কম ?
 (A) $n = 5$ থেকে $n = 4$ (B) $n = 4$ থেকে $n = 3$
 (C) $n = 3$ থেকে $n = 2$ (D) $n = 2$ থেকে $n = 1$ ।
49. নিম্নলিখিত রাশিগুলির মধ্যে কোনটি ভৌমন্তরে হাইড্রোজেন সদৃশ পরমাণু এবং আয়নের বেলায় সমান ?
 (A) কক্ষপথের ব্যাসার্ধ (B) ইলেকট্রনের দ্রুতি
 (C) পরমাণুর শক্তি (D) ইলেকট্রনের কক্ষীয় কৌণিক ভরবেগ।
50. অর্ধপরিবাহীতে তড়িৎ পরিবহন করে
 (A) কেবল ইলেকট্রন (B) কেবল গহ্বর
 (C) ইলেকট্রন এবং গহ্বর দুই-ই (D) ইলেকট্রন বা গহ্বর কেউ না।

MCQ প্রশ্নপত্রের উত্তর

Set - 1

1. ☐ A ☐ B ☐ C ☒ D
2. ☒ A ☐ B ☐ C ☐ D
3. ☐ A ☒ B ☐ C ☐ D
4. ☐ A ☒ B ☐ C ☐ D
5. ☐ A ☒ B ☐ C ☐ D
6. ☐ A ☒ B ☐ C ☐ D
7. ☐ A ☐ B ☐ C ☒ D
8. ☒ A ☐ B ☐ C ☐ D
9. ☐ A ☐ B ☒ C ☐ D
10. ☒ A ☐ B ☐ C ☐ D
11. ☐ A ☒ B ☐ C ☐ D
12. ☐ A ☐ B ☒ C ☐ D
13. ☒ A ☐ B ☐ C ☐ D
14. ☒ A ☐ B ☐ C ☐ D
15. ☐ A ☐ B ☐ C ☒ D
16. ☐ A ☐ B ☐ C ☒ D
17. ☒ A ☒ B ☐ C ☐ D
18. ☐ A ☐ B ☒ C ☐ D
19. ☐ A ☐ B ☐ C ☒ D
20. ☐ A ☐ B ☐ C ☒ D
21. ☐ A ☐ B ☒ C ☐ D
22. ☐ A ☐ B ☐ C ☒ D
23. ☐ A ☐ B ☐ C ☒ D
24. ☐ A ☐ B ☐ C ☒ D
25. ☐ A ☐ B ☐ C ☒ D

26. ☐ A ☐ B ☐ C ☒ D
27. ☐ A ☐ B ☒ C ☐ D
28. ☐ A ☒ B ☐ C ☐ D
29. ☐ A ☒ B ☐ C ☐ D
30. ☒ A ☐ B ☐ C ☐ D
31. ☐ A ☐ B ☐ C ☒ D
32. ☐ A ☒ B ☐ C ☐ D
33. ☒ A ☐ B ☐ C ☐ D
34. ☐ A ☐ B ☒ C ☐ D
35. ☐ A ☐ B ☒ C ☐ D
36. ☐ A ☐ B ☒ C ☐ D
37. ☐ A ☐ B ☒ C ☐ D
38. ☒ A ☐ B ☐ C ☐ D
39. ☐ A ☐ B ☒ C ☐ D
40. ☐ A ☒ B ☐ C ☐ D
41. ☒ A ☐ B ☐ C ☐ D
42. ☒ A ☐ B ☐ C ☐ D
43. ☐ A ☐ B ☒ C ☐ D
44. ☐ A ☐ B ☐ C ☒ D
45. ☐ A ☐ B ☐ C ☒ D
46. ☒ A ☐ B ☐ C ☐ D
47. ☐ A ☐ B ☐ C ☒ D
48. ☐ A ☐ B ☐ C ☒ D
49. ☐ A ☒ B ☐ C ☐ D
50. ☐ A ☒ B ☐ C ☐ D

Set - 2

1. ☒ A ☐ B ☐ C ☐ D
2. ☐ A ☒ B ☐ C ☐ D
3. ☐ A ☐ B ☒ C ☐ D
4. ☐ A ☐ B ☒ C ☐ D
5. ☐ A ☒ B ☐ C ☐ D
6. ☐ A ☒ B ☐ C ☐ D
7. ☐ A ☒ B ☐ C ☐ D
8. ☐ A ☐ B ☐ C ☒ D
9. ☐ A ☐ B ☐ C ☒ D
10. ☐ A ☒ B ☐ C ☐ D
11. ☒ A ☐ B ☐ C ☐ D
12. ☐ A ☐ B ☒ C ☐ D
13. ☐ A ☒ B ☐ C ☐ D
14. ☐ A ☒ B ☐ C ☐ D
15. ☐ A ☒ B ☐ C ☐ D
16. ☐ A ☒ B ☐ C ☐ D
17. ☐ A ☐ B ☒ C ☐ D
18. ☐ A ☐ B ☒ C ☐ D
19. ☐ A ☐ B ☒ C ☐ D
20. ☐ A ☒ B ☐ C ☐ D
21. ☐ A ☒ B ☐ C ☐ D
22. ☐ A ☐ B ☒ C ☐ D
23. ☐ A ☐ B ☐ C ☒ D
24. ☐ A ☐ B ☒ C ☐ D
25. ☐ A ☒ B ☐ C ☐ D

26. ☐ A ☐ B ☐ C ☒ D
27. ☒ A ☐ B ☐ C ☐ D
28. ☐ A ☐ B ☒ C ☐ D
29. ☒ A ☐ B ☐ C ☐ D
30. ☐ A ☐ B ☐ C ☒ D
31. ☐ A ☒ B ☐ C ☐ D
32. ☐ A ☒ B ☐ C ☐ D
33. ☐ A ☐ B ☐ C ☒ D
34. ☒ A ☐ B ☐ C ☐ D
35. ☐ A ☒ B ☐ C ☐ D
36. ☐ A ☐ B ☒ C ☐ D
37. ☐ A ☒ B ☐ C ☐ D
38. ☐ A ☐ B ☒ C ☐ D
39. ☐ A ☒ B ☐ C ☐ D
40. ☐ A ☐ B ☒ C ☐ D
41. ☐ A ☒ B ☐ C ☐ D
42. ☐ A ☒ B ☐ C ☐ D
43. ☐ A ☐ B ☐ C ☒ D
44. ☐ A ☐ B ☒ C ☐ D
45. ☐ A ☒ B ☐ C ☐ D
46. ☐ A ☐ B ☐ C ☒ D
47. ☐ A ☒ B ☐ C ☐ D
48. ☐ A ☒ B ☐ C ☐ D
49. ☐ A ☐ B ☐ C ☒ D
50. ☐ A ☒ B ☐ C ☐ D

Set - 3

1. ☐ A ☐ B ☐ C ☒ D
2. ☐ A ☐ B ☒ C ☐ D
3. ☐ A ☒ B ☐ C ☐ D
4. ☐ A ☐ B ☒ C ☐ D
5. ☐ A ☒ B ☐ C ☐ D
6. ☒ A ☐ B ☐ C ☐ D
7. ☐ A ☐ B ☐ C ☒ D
8. ☐ A ☒ B ☐ C ☐ D
9. ☒ A ☐ B ☐ C ☐ D
10. ☐ A ☐ B ☐ C ☒ D
11. ☐ A ☐ B ☐ C ☒ D
12. ☐ A ☐ B ☐ C ☒ D
13. ☐ A ☐ B ☒ C ☐ D
14. ☐ A ☒ B ☐ C ☐ D
15. ☐ A ☒ B ☐ C ☐ D
16. ☐ A ☒ B ☐ C ☐ D
17. ☐ A ☐ B ☒ C ☐ D
18. ☐ A ☒ B ☐ C ☐ D
19. ☐ A ☐ B ☐ C ☒ D
20. ☐ A ☐ B ☐ C ☒ D
21. ☐ A ☐ B ☒ C ☐ D
22. ☐ A ☐ B ☒ C ☐ D
23. ☐ A ☐ B ☒ C ☐ D
24. ☐ A ☐ B ☒ C ☐ D
25. ☐ A ☐ B ☒ C ☐ D

26. ☐ A ☐ B ☒ C ☐ D
27. ☐ A ☐ B ☒ C ☐ D
28. ☒ A ☐ B ☐ C ☐ D
29. ☒ A ☐ B ☐ C ☐ D
30. ☐ A ☒ B ☐ C ☐ D
31. ☐ A ☐ B ☒ C ☐ D
32. ☐ A ☒ B ☐ C ☐ D
33. ☐ A ☐ B ☐ C ☒ D
34. ☐ A ☒ B ☐ C ☐ D
35. ☒ A ☐ B ☐ C ☐ D
36. ☒ A ☐ B ☐ C ☐ D
37. ☒ A ☐ B ☐ C ☐ D
38. ☒ A ☐ B ☐ C ☐ D
39. ☐ A ☐ B ☐ C ☒ D
40. ☒ A ☐ B ☐ C ☐ D
41. ☒ A ☐ B ☐ C ☐ D
42. ☐ A ☐ B ☐ C ☒ D
43. ☐ A ☒ B ☐ C ☐ D
44. ☒ A ☐ B ☐ C ☐ D
45. ☐ A ☐ B ☐ C ☒ D
46. ☐ A ☐ B ☒ C ☐ D
47. ☐ A ☐ B ☒ C ☐ D
48. ☒ A ☐ B ☐ C ☐ D
49. ☒ A ☐ B ☐ C ☐ D
50. ☐ A ☒ B ☐ C ☐ D

Set - 4

1. ☐ A ☒ B ☐ C ☐ D
2. ☐ A ☐ B ☐ C ☒ D
3. ☐ A ☐ B ☒ C ☐ D
4. ☐ A ☐ B ☒ C ☐ D
5. ☐ A ☐ B ☐ C ☒ D
6. ☐ A ☐ B ☐ C ☒ D
7. ☐ A ☐ B ☐ C ☒ D
8. ☐ A ☐ B ☐ C ☒ D
9. ☒ A ☐ B ☐ C ☐ D
10. ☐ A ☒ B ☐ C ☐ D
11. ☐ A ☐ B ☒ C ☐ D
12. ☐ A ☐ B ☐ C ☒ D
13. ☒ A ☐ B ☐ C ☐ D
14. ☒ A ☐ B ☐ C ☐ D
15. ☒ A ☐ B ☐ C ☐ D
16. ☐ A ☒ B ☐ C ☐ D
17. ☒ A ☐ B ☐ C ☐ D
18. ☐ A ☒ B ☐ C ☐ D
19. ☐ A ☐ B ☐ C ☒ D
20. ☒ A ☐ B ☐ C ☐ D
21. ☐ A ☒ B ☐ C ☐ D
22. ☐ A ☐ B ☐ C ☒ D
23. ☐ A ☒ B ☐ C ☐ D
24. ☐ A ☐ B ☐ C ☒ D
25. ☐ A ☒ B ☐ C ☐ D

26. ☐ A ☒ B ☐ C ☐ D
27. ☐ A ☐ B ☒ C ☐ D
28. ☒ A ☐ B ☐ C ☐ D
29. ☐ A ☐ B ☒ C ☐ D
30. ☐ A ☒ B ☐ C ☐ D
31. ☒ A ☐ B ☐ C ☐ D
32. ☐ A ☐ B ☐ C ☒ D
33. ☒ A ☐ B ☐ C ☐ D
34. ☐ A ☐ B ☐ C ☒ D
35. ☐ A ☐ B ☒ C ☐ D
36. ☒ A ☐ B ☐ C ☐ D
37. ☒ A ☐ B ☒ C ☐ D
38. ☐ A ☐ B ☐ C ☒ D
39. ☐ A ☐ B ☐ C ☒ D
40. ☐ A ☐ B ☒ C ☐ D
41. ☐ A ☒ B ☐ C ☐ D
42. ☐ A ☐ B ☒ C ☐ D
43. ☐ A ☐ B ☒ C ☐ D
44. ☐ A ☐ B ☐ C ☒ D
45. ☒ A ☐ B ☐ C ☐ D
46. ☐ A ☒ B ☐ C ☒ D
47. ☐ A ☒ B ☐ C ☐ D
48. ☐ A ☐ B ☒ C ☐ D
49. ☐ A ☐ B ☒ C ☐ D
50. ☒ A ☐ B ☐ C ☐ D

Set - 5

- | | | | | | | | | | |
|-----|----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|-----|----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|
| 1. | <input checked="" type="radio"/> | <input type="radio"/> B | <input type="radio"/> C | <input type="radio"/> D | 26. | <input type="radio"/> A | <input type="radio"/> B | <input checked="" type="radio"/> | <input type="radio"/> D |
| 2. | <input checked="" type="radio"/> | <input type="radio"/> B | <input type="radio"/> C | <input type="radio"/> D | 27. | <input type="radio"/> A | <input checked="" type="radio"/> | <input type="radio"/> C | <input type="radio"/> D |
| 3. | <input type="radio"/> A | <input type="radio"/> B | <input type="radio"/> C | <input checked="" type="radio"/> | 28. | <input type="radio"/> A | <input checked="" type="radio"/> | <input type="radio"/> C | <input type="radio"/> D |
| 4. | <input checked="" type="radio"/> | <input type="radio"/> B | <input type="radio"/> C | <input type="radio"/> D | 29. | <input type="radio"/> A | <input checked="" type="radio"/> | <input type="radio"/> C | <input type="radio"/> D |
| 5. | <input type="radio"/> A | <input checked="" type="radio"/> | <input type="radio"/> C | <input type="radio"/> D | 30. | <input type="radio"/> A | <input checked="" type="radio"/> | <input type="radio"/> C | <input type="radio"/> D |
| 6. | <input type="radio"/> A | <input checked="" type="radio"/> | <input checked="" type="radio"/> | <input checked="" type="radio"/> | 31. | <input type="radio"/> A | <input type="radio"/> B | <input type="radio"/> C | <input checked="" type="radio"/> |
| 7. | <input checked="" type="radio"/> | <input type="radio"/> B | <input type="radio"/> C | <input type="radio"/> D | 32. | <input type="radio"/> A | <input type="radio"/> B | <input type="radio"/> C | <input checked="" type="radio"/> |
| 8. | <input type="radio"/> A | <input type="radio"/> B | <input checked="" type="radio"/> | <input type="radio"/> D | 33. | <input type="radio"/> A | <input type="radio"/> B | <input checked="" type="radio"/> | <input type="radio"/> D |
| 9. | <input type="radio"/> A | <input checked="" type="radio"/> | <input type="radio"/> C | <input type="radio"/> D | 34. | <input checked="" type="radio"/> | <input type="radio"/> B | <input type="radio"/> C | <input type="radio"/> D |
| 10. | <input type="radio"/> A | <input type="radio"/> B | <input checked="" type="radio"/> | <input type="radio"/> D | 35. | <input type="radio"/> A | <input checked="" type="radio"/> | <input type="radio"/> C | <input type="radio"/> D |
| 11. | <input type="radio"/> A | <input checked="" type="radio"/> | <input type="radio"/> C | <input type="radio"/> D | 36. | <input type="radio"/> A | <input type="radio"/> B | <input checked="" type="radio"/> | <input type="radio"/> D |
| 12. | <input type="radio"/> A | <input type="radio"/> B | <input checked="" type="radio"/> | <input type="radio"/> D | 37. | <input checked="" type="radio"/> | <input type="radio"/> B | <input type="radio"/> C | <input type="radio"/> D |
| 13. | <input checked="" type="radio"/> | <input type="radio"/> B | <input type="radio"/> C | <input type="radio"/> D | 38. | <input checked="" type="radio"/> | <input type="radio"/> B | <input type="radio"/> C | <input type="radio"/> D |
| 14. | <input type="radio"/> A | <input checked="" type="radio"/> | <input type="radio"/> C | <input type="radio"/> D | 39. | <input type="radio"/> A | <input checked="" type="radio"/> | <input type="radio"/> C | <input type="radio"/> D |
| 15. | <input type="radio"/> A | <input type="radio"/> B | <input type="radio"/> C | <input checked="" type="radio"/> | 40. | <input type="radio"/> A | <input checked="" type="radio"/> | <input type="radio"/> C | <input type="radio"/> D |
| 16. | <input type="radio"/> A | <input type="radio"/> B | <input checked="" type="radio"/> | <input type="radio"/> D | 41. | <input type="radio"/> A | <input type="radio"/> B | <input type="radio"/> C | <input checked="" type="radio"/> |
| 17. | <input type="radio"/> A | <input type="radio"/> B | <input checked="" type="radio"/> | <input type="radio"/> D | 42. | <input type="radio"/> A | <input checked="" type="radio"/> | <input type="radio"/> C | <input type="radio"/> D |
| 18. | <input type="radio"/> A | <input type="radio"/> B | <input type="radio"/> C | <input checked="" type="radio"/> | 43. | <input type="radio"/> A | <input type="radio"/> B | <input type="radio"/> C | <input checked="" type="radio"/> |
| 19. | <input checked="" type="radio"/> | <input type="radio"/> B | <input type="radio"/> C | <input type="radio"/> D | 44. | <input checked="" type="radio"/> | <input type="radio"/> B | <input type="radio"/> C | <input type="radio"/> D |
| 20. | <input type="radio"/> A | <input type="radio"/> B | <input checked="" type="radio"/> | <input type="radio"/> D | 45. | <input type="radio"/> A | <input type="radio"/> B | <input checked="" type="radio"/> | <input type="radio"/> D |
| 21. | <input type="radio"/> A | <input type="radio"/> B | <input type="radio"/> C | <input checked="" type="radio"/> | 46. | <input type="radio"/> A | <input type="radio"/> B | <input checked="" type="radio"/> | <input type="radio"/> D |
| 22. | <input type="radio"/> A | <input type="radio"/> B | <input type="radio"/> C | <input checked="" type="radio"/> | 47. | <input checked="" type="radio"/> | <input type="radio"/> B | <input type="radio"/> C | <input type="radio"/> D |
| 23. | <input checked="" type="radio"/> | <input type="radio"/> B | <input type="radio"/> C | <input type="radio"/> D | 48. | <input checked="" type="radio"/> | <input type="radio"/> B | <input type="radio"/> C | <input type="radio"/> D |
| 24. | <input type="radio"/> A | <input checked="" type="radio"/> | <input type="radio"/> C | <input type="radio"/> D | 49. | <input checked="" type="radio"/> | <input type="radio"/> B | <input type="radio"/> C | <input type="radio"/> D |
| 25. | <input type="radio"/> A | <input checked="" type="radio"/> | <input type="radio"/> C | <input type="radio"/> D | 50. | <input type="radio"/> A | <input type="radio"/> B | <input type="radio"/> C | <input checked="" type="radio"/> |

Set - 6

1. (A) (B) (C) (D)
2. (A) (B) (C) (D)
3. (A) (B) (C) (D)
4. (A) (B) (C) (D)
5. (A) (B) (C) (D)
6. (A) (B) (C) (D)
7. (A) (B) (C) (D)
8. (A) (B) (C) (D)
9. (A) (B) (C) (D)
10. (A) (B) (C) (D)
11. (A) (B) (C) (D)
12. (A) (B) (C) (D)
13. (A) (B) (C) (D)
14. (A) (B) (C) (D)
15. (A) (B) (C) (D)
16. (A) (B) (C) (D)
17. (A) (B) (C) (D)
18. (A) (B) (C) (D)
19. (A) (B) (C) (D)
20. (A) (B) (C) (D)
21. (A) (B) (C) (D)
22. (A) (B) (C) (D)
23. (A) (B) (C) (D)
24. (A) (B) (C) (D)
25. (A) (B) (C) (D)

26. (A) (B) (C) (D)
27. (A) (B) (C) (D)
28. (A) (B) (C) (D)
29. (A) (B) (C) (D)
30. (A) (B) (C) (D)
31. (A) (B) (C) (D)
32. (A) (B) (C) (D)
33. (A) (B) (C) (D)
34. (A) (B) (C) (D)
35. (A) (B) (C) (D)
36. (A) (B) (C) (D)
37. (A) (B) (C) (D)
38. (A) (B) (C) (D)
39. (A) (B) (C) (D)
40. (A) (B) (C) (D)
41. (A) (B) (C) (D)
42. (A) (B) (C) (D)
43. (A) (B) (C) (D)
44. (A) (B) (C) (D)
45. (A) (B) (C) (D)
46. (A) (B) (C) (D)
47. (A) (B) (C) (D)
48. (A) (B) (C) (D)
49. (A) (B) (C) (D)
50. (A) (B) (C) (D)

Set - 7

- | | |
|---|--|
| 1. <input type="radio"/> A <input type="radio"/> B <input type="radio"/> C <input checked="" type="radio"/> | 26. <input checked="" type="radio"/> <input type="radio"/> B <input type="radio"/> C <input type="radio"/> D |
| 2. <input checked="" type="radio"/> <input type="radio"/> B <input type="radio"/> C <input type="radio"/> D | 27. <input type="radio"/> A <input checked="" type="radio"/> <input type="radio"/> C <input type="radio"/> D |
| 3. <input type="radio"/> A <input type="radio"/> B <input checked="" type="radio"/> <input type="radio"/> D | 28. <input type="radio"/> A <input checked="" type="radio"/> <input type="radio"/> C <input type="radio"/> D |
| 4. <input type="radio"/> A <input type="radio"/> B <input type="radio"/> C <input checked="" type="radio"/> | 29. <input type="radio"/> A <input type="radio"/> B <input checked="" type="radio"/> <input type="radio"/> D |
| 5. <input type="radio"/> A <input type="radio"/> B <input checked="" type="radio"/> <input type="radio"/> D | 30. <input checked="" type="radio"/> <input type="radio"/> B <input type="radio"/> C <input type="radio"/> D |
| 6. <input type="radio"/> A <input type="radio"/> B <input type="radio"/> C <input checked="" type="radio"/> | 31. <input type="radio"/> A <input type="radio"/> B <input checked="" type="radio"/> <input type="radio"/> D |
| 7. <input type="radio"/> A <input checked="" type="radio"/> <input type="radio"/> C <input type="radio"/> D | 32. <input type="radio"/> A <input type="radio"/> B <input type="radio"/> C <input checked="" type="radio"/> |
| 8. <input checked="" type="radio"/> <input type="radio"/> B <input type="radio"/> C <input type="radio"/> D | 33. <input checked="" type="radio"/> <input type="radio"/> B <input checked="" type="radio"/> <input checked="" type="radio"/> |
| 9. <input type="radio"/> A <input type="radio"/> B <input checked="" type="radio"/> <input type="radio"/> D | 34. <input checked="" type="radio"/> <input type="radio"/> B <input checked="" type="radio"/> <input type="radio"/> D |
| 10. <input checked="" type="radio"/> <input type="radio"/> B <input type="radio"/> C <input type="radio"/> D | 35. <input type="radio"/> A <input checked="" type="radio"/> <input checked="" type="radio"/> <input checked="" type="radio"/> |
| 11. <input type="radio"/> A <input checked="" type="radio"/> <input type="radio"/> C <input type="radio"/> D | 36. <input type="radio"/> A <input type="radio"/> B <input type="radio"/> C <input checked="" type="radio"/> |
| 12. <input type="radio"/> A <input checked="" type="radio"/> <input type="radio"/> C <input type="radio"/> D | 37. <input type="radio"/> A <input type="radio"/> B <input type="radio"/> C <input checked="" type="radio"/> |
| 13. <input type="radio"/> A <input type="radio"/> B <input checked="" type="radio"/> <input type="radio"/> D | 38. <input type="radio"/> A <input type="radio"/> B <input type="radio"/> C <input checked="" type="radio"/> |
| 14. <input type="radio"/> A <input type="radio"/> B <input checked="" type="radio"/> <input type="radio"/> D | 39. <input type="radio"/> A <input checked="" type="radio"/> <input type="radio"/> C <input type="radio"/> D |
| 15. <input type="radio"/> A <input type="radio"/> B <input checked="" type="radio"/> <input type="radio"/> D | 40. <input checked="" type="radio"/> <input type="radio"/> B <input type="radio"/> C <input type="radio"/> D |
| 16. <input type="radio"/> A <input type="radio"/> B <input checked="" type="radio"/> <input type="radio"/> D | 41. <input type="radio"/> A <input checked="" type="radio"/> <input type="radio"/> C <input type="radio"/> D |
| 17. <input type="radio"/> A <input type="radio"/> B <input type="radio"/> C <input checked="" type="radio"/> | 42. <input type="radio"/> A <input type="radio"/> B <input checked="" type="radio"/> <input type="radio"/> D |
| 18. <input type="radio"/> A <input checked="" type="radio"/> <input checked="" type="radio"/> <input type="radio"/> D | 43. <input type="radio"/> A <input checked="" type="radio"/> <input type="radio"/> C <input type="radio"/> D |
| 19. <input checked="" type="radio"/> <input type="radio"/> B <input type="radio"/> C <input type="radio"/> D | 44. <input checked="" type="radio"/> <input type="radio"/> B <input type="radio"/> C <input type="radio"/> D |
| 20. <input type="radio"/> A <input checked="" type="radio"/> <input type="radio"/> C <input type="radio"/> D | 45. <input checked="" type="radio"/> <input checked="" type="radio"/> <input type="radio"/> C <input checked="" type="radio"/> |
| 21. <input type="radio"/> A <input checked="" type="radio"/> <input type="radio"/> C <input type="radio"/> D | 46. <input type="radio"/> A <input checked="" type="radio"/> <input type="radio"/> C <input checked="" type="radio"/> |
| 22. <input type="radio"/> A <input checked="" type="radio"/> <input type="radio"/> C <input type="radio"/> D | 47. <input type="radio"/> A <input checked="" type="radio"/> <input checked="" type="radio"/> <input type="radio"/> D |
| 23. <input type="radio"/> A <input type="radio"/> B <input checked="" type="radio"/> <input type="radio"/> D | 48. <input checked="" type="radio"/> <input type="radio"/> B <input type="radio"/> C <input type="radio"/> D |
| 24. <input type="radio"/> A <input type="radio"/> B <input type="radio"/> C <input checked="" type="radio"/> | 49. <input type="radio"/> A <input type="radio"/> B <input type="radio"/> C <input checked="" type="radio"/> |
| 25. <input type="radio"/> A <input checked="" type="radio"/> <input type="radio"/> C <input type="radio"/> D | 50. <input type="radio"/> A <input checked="" type="radio"/> <input type="radio"/> C <input type="radio"/> D |

Set - 8

1. ☒ A ☐ B ☐ C ☐ D
2. ☐ A ☒ B ☐ C ☐ D
3. ☐ A ☒ B ☐ C ☐ D
4. ☐ A ☐ B ☒ C ☐ D
5. ☒ A ☐ B ☐ C ☐ D
6. ☒ A ☐ B ☐ C ☐ D
7. ☐ A ☒ B ☐ C ☐ D
8. ☐ A ☐ B ☒ C ☐ D
9. ☐ A ☐ B ☒ C ☐ D
10. ☒ A ☐ B ☐ C ☐ D
11. ☐ A ☒ B ☐ C ☐ D
12. ☒ A ☐ B ☐ C ☐ D
13. ☒ A ☐ B ☐ C ☐ D
14. ☒ A ☐ B ☐ C ☐ D
15. ☐ A ☐ B ☐ C ☒ D
16. ☐ A ☐ B ☒ C ☐ D
17. ☒ A ☐ B ☐ C ☐ D
18. ☐ A ☐ B ☐ C ☒ D
19. ☐ A ☐ B ☒ C ☐ D
20. ☐ A ☐ B ☐ C ☒ D
21. ☐ A ☐ B ☒ C ☐ D
22. ☐ A ☐ B ☒ C ☐ D
23. ☐ A ☐ B ☒ C ☐ D
24. ☒ A ☐ B ☐ C ☐ D
25. ☐ A ☒ B ☐ C ☐ D

26. ☒ A ☐ B ☐ C ☐ D
27. ☐ A ☐ B ☐ C ☒ D
28. ☐ A ☐ B ☐ C ☒ D
29. ☐ A ☐ B ☒ C ☐ D
30. ☒ A ☐ B ☐ C ☐ D
31. ☐ A ☐ B ☒ C ☐ D
32. ☐ A ☐ B ☒ C ☐ D
33. ☐ A ☒ B ☐ C ☐ D
34. ☒ A ☐ B ☐ C ☐ D
35. ☐ A ☐ B ☐ C ☒ D
36. ☐ A ☐ B ☒ C ☐ D
37. ☒ A ☐ B ☐ C ☐ D
38. ☒ A ☐ B ☐ C ☐ D
39. ☐ A ☒ B ☐ C ☐ D
40. ☐ A ☒ B ☐ C ☐ D
41. ☒ A ☐ B ☐ C ☐ D
42. ☐ A ☐ B ☒ C ☐ D
43. ☐ A ☐ B ☒ C ☐ D
44. ☐ A ☒ B ☐ C ☐ D
45. ☒ A ☐ B ☐ C ☐ D
46. ☐ A ☒ B ☐ C ☒ D
47. ☐ A ☐ B ☒ C ☐ D
48. ☒ A ☐ B ☐ C ☐ D
49. ☐ A ☒ B ☐ C ☐ D
50. ☒ A ☐ B ☐ C ☐ D

Set - 9

1. ☐ A ☐ B ☒ C ☐ D
2. ☐ A ☐ B ☒ C ☐ D
3. ☐ A ☐ B ☐ C ☒ D
4. ☐ A ☒ B ☐ C ☐ D
5. ☐ A ☒ B ☐ C ☐ D
6. ☐ A ☐ B ☐ C ☒ D
7. ☒ A ☐ B ☐ C ☐ D
8. ☒ A ☐ B ☐ C ☐ D
9. ☐ A ☐ B ☐ C ☒ D
10. ☐ A ☐ B ☐ C ☒ D
11. ☐ A ☐ B ☐ C ☒ D
12. ☐ A ☐ B ☐ C ☒ D
13. ☐ A ☐ B ☐ C ☒ D
14. ☐ A ☐ B ☐ C ☒ D
15. ☒ A ☐ B ☐ C ☐ D
16. ☐ A ☐ B ☐ C ☒ D
17. ☒ A ☐ B ☐ C ☐ D
18. ☐ A ☒ B ☐ C ☐ D
19. ☒ A ☐ B ☐ C ☐ D
20. ☒ A ☐ B ☐ C ☐ D
21. ☐ A ☐ B ☐ C ☒ D
22. ☐ A ☒ B ☐ C ☐ D
23. ☐ A ☐ B ☐ C ☒ D
24. ☐ A ☐ B ☒ C ☒ D
25. ☐ A ☐ B ☒ C ☐ D

26. ☐ A ☐ B ☒ C ☐ D
27. ☐ A ☒ B ☒ C ☐ D
28. ☐ A ☐ B ☒ C ☐ D
29. ☐ A ☐ B ☐ C ☒ D
30. ☒ A ☒ B ☒ C ☐ D
31. ☐ A ☐ B ☒ C ☐ D
32. ☒ A ☐ B ☐ C ☐ D
33. ☐ A ☒ B ☐ C ☐ D
34. ☐ A ☒ B ☒ C ☐ D
35. ☐ A ☐ B ☐ C ☒ D
36. ☒ A ☐ B ☐ C ☐ D
37. ☒ A ☐ B ☐ C ☐ D
38. ☒ A ☐ B ☐ C ☐ D
39. ☐ A ☒ B ☐ C ☐ D
40. ☐ A ☐ B ☒ C ☐ D
41. ☒ A ☐ B ☐ C ☐ D
42. ☐ A ☐ B ☒ C ☐ D
43. ☐ A ☐ B ☐ C ☒ D
44. ☐ A ☐ B ☒ C ☐ D
45. ☐ A ☒ B ☐ C ☐ D
46. ☒ A ☐ B ☐ C ☐ D
47. ☐ A ☐ B ☒ C ☐ D
48. ☐ A ☐ B ☐ C ☒ D
49. ☒ A ☐ B ☐ C ☐ D
50. ☐ A ☐ B ☒ C ☐ D

Set-10

1. ☐ A ☐ B ☐ C ☒
2. ☐ A ☐ B ☒ D
3. ☐ A ☐ B ☐ C ☒
4. ☐ A ☐ B ☐ C ☒
5. ☐ A ☐ B ☐ C ☒
6. ☐ A ☐ B ☒ D
7. ☐ A ☐ B ☒ D
8. ☐ A ☐ B ☒ D
9. ☐ A ☐ B ☒ D
10. ☐ A ☐ B ☐ C ☐ D
11. ☒ B ☐ C ☐ D
12. ☐ A ☐ B ☐ C ☒
13. ☒ B ☐ C ☐ D
14. ☐ A ☐ B ☒ D
15. ☐ A ☒ C ☐ D
16. ☐ A ☒ C ☐ D
17. ☐ A ☐ B ☐ C ☒
18. ☐ A ☐ B ☒ D
19. ☐ A ☐ B ☐ C ☒
20. ☐ A ☒ C ☐ D
21. ☐ A ☐ B ☒ D
22. ☒ B ☐ C ☐ D
23. ☐ A ☒ C ☐ D
24. ☐ A ☐ B ☒ D
25. ☒ B ☐ C ☐ D

26. ☐ A ☐ B ☒ D
27. ☐ A ☐ B ☒ D
28. ☐ A ☐ B ☒ D
29. ☐ A ☒ C ☐ D
30. ☒ B ☐ C ☐ D
31. ☒ B ☐ C ☐ D
32. ☒ B ☐ C ☐ D
33. ☐ A ☐ B ☐ C ☒
34. ☒ B ☐ C ☐ D
35. ☐ A ☒ C ☐ D
36. ☒ B ☐ C ☐ D
37. ☐ A ☒ C ☐ D
38. ☒ B ☐ C ☐ D
39. ☒ B ☐ C ☐ D
40. ☐ A ☐ B ☐ C ☒
41. ☐ A ☐ B ☒ D
42. ☐ A ☐ B ☐ C ☒
43. ☐ A ☒ C ☐ D
44. ☐ A ☐ B ☐ C ☒
45. ☐ A ☒ C ☐ D
46. ☐ A ☐ B ☒ D
47. ☐ A ☐ B ☐ C ☒
48. ☐ A ☐ B ☐ C ☒
49. ☐ A ☒ C ☐ D
50. ☐ A ☐ B ☒ D

Set- 11

1. ☐ A ☐ B ☒ C ☐ D
2. ☒ A ☐ B ☐ C ☐ D
3. ☒ A ☐ B ☐ C ☐ D
4. ☐ A ☐ B ☐ C ☒ D
5. ☐ A ☐ B ☐ C ☒ D
6. ☒ A ☐ B ☐ C ☐ D
7. ☐ A ☐ B ☒ C ☐ D
8. ☐ A ☐ B ☐ C ☒ D
9. ☐ A ☐ B ☐ C ☒ D
10. ☐ A ☐ B ☒ C ☐ D
11. ☐ A ☒ B ☒ C ☐ D
12. ☒ A ☐ B ☐ C ☐ D
13. ☐ A ☐ B ☒ C ☐ D
14. ☐ A ☒ B ☐ C ☐ D
15. ☐ A ☐ B ☒ C ☐ D
16. ☐ A ☐ B ☐ C ☒ D
17. ☐ A ☐ B ☒ C ☐ D
18. ☐ A ☒ B ☐ C ☐ D
19. ☐ A ☒ B ☐ C ☐ D
20. ☐ A ☐ B ☒ C ☐ D
21. ☐ A ☐ B ☒ C ☐ D
22. ☐ A ☐ B ☒ C ☐ D
23. ☐ A ☒ B ☐ C ☐ D
24. ☐ A ☐ B ☐ C ☒ D
25. ☒ A ☐ B ☐ C ☐ D

26. ☐ A ☐ B ☒ C ☐ D
27. ☐ A ☐ B ☐ C ☒ D
28. ☐ A ☐ B ☒ C ☒ D
29. ☐ A ☐ B ☐ C ☒ D
30. ☐ A ☒ B ☐ C ☐ D
31. ☐ A ☐ B ☒ C ☐ D
32. ☐ A ☐ B ☒ C ☐ D
33. ☒ A ☐ B ☐ C ☐ D
34. ☐ A ☒ B ☐ C ☐ D
35. ☐ A ☒ B ☐ C ☐ D
36. ☐ A ☒ B ☐ C ☐ D
37. ☐ A ☐ B ☒ C ☐ D
38. ☐ A ☐ B ☒ C ☐ D
39. ☐ A ☒ B ☐ C ☐ D
40. ☐ A ☐ B ☒ C ☐ D
41. ☐ A ☒ B ☐ C ☐ D
42. ☐ A ☒ B ☐ C ☐ D
43. ☒ A ☐ B ☐ C ☐ D
44. ☐ A ☒ B ☐ C ☐ D
45. ☐ A ☐ B ☒ C ☐ D
46. ☐ A ☒ B ☐ C ☐ D
47. ☒ A ☐ B ☐ C ☐ D
48. ☒ A ☐ B ☐ C ☐ D
49. ☐ A ☐ B ☒ C ☐ D
50. ☐ A ☐ B ☐ C ☒ D

Set - 12

1. ☒ A ☐ B ☐ C ☐ D
2. ☐ A ☐ B ☒ C ☐ D
3. ☐ A ☐ B ☐ C ☒ D
4. ☐ A ☒ B ☐ C ☐ D
5. ☐ A ☐ B ☐ C ☒ D
6. ☐ A ☐ B ☒ C ☐ D
7. ☐ A ☐ B ☒ C ☐ D
8. ☒ A ☐ B ☐ C ☐ D
9. ☐ A ☐ B ☐ C ☒ D
10. ☒ A ☐ B ☐ C ☐ D
11. ☒ A ☐ B ☐ C ☐ D
12. ☐ A ☐ B ☒ C ☐ D
13. ☐ A ☒ B ☐ C ☐ D
14. ☒ A ☐ B ☐ C ☐ D
15. ☐ A ☒ B ☐ C ☐ D
16. ☒ A ☐ B ☐ C ☐ D
17. ☐ A ☒ B ☐ C ☐ D
18. ☐ A ☐ B ☒ C ☐ D
19. ☐ A ☒ B ☐ C ☐ D
20. ☐ A ☐ B ☐ C ☒ D
21. ☒ A ☐ B ☐ C ☐ D
22. ☐ A ☒ B ☐ C ☐ D
23. ☐ A ☒ B ☐ C ☐ D
24. ☐ A ☐ B ☒ C ☐ D
25. ☒ A ☐ B ☐ C ☐ D

26. ☐ A ☐ B ☒ C ☐ D
27. ☐ A ☐ B ☒ C ☐ D
28. ☒ A ☐ B ☐ C ☐ D
29. ☐ A ☐ B ☐ C ☒ D
30. ☒ A ☐ B ☐ C ☒ D
31. ☒ A ☐ B ☐ C ☐ D
32. ☐ A ☒ B ☐ C ☐ D
33. ☐ A ☒ B ☐ C ☐ D
34. ☒ A ☐ B ☐ C ☐ D
35. ☐ A ☐ B ☐ C ☒ D
36. ☐ A ☐ B ☒ C ☐ D
37. ☒ A ☐ B ☐ C ☐ D
38. ☐ A ☒ B ☐ C ☐ D
39. ☒ A ☐ B ☐ C ☐ D
40. ☐ A ☒ B ☐ C ☐ D
41. ☐ A ☐ B ☒ C ☐ D
42. ☐ A ☐ B ☒ C ☐ D
43. ☐ A ☒ B ☐ C ☐ D
44. ☐ A ☒ B ☐ C ☐ D
45. ☐ A ☐ B ☒ C ☐ D
46. ☐ A ☒ B ☐ C ☐ D
47. ☐ A ☐ B ☐ C ☒ D
48. ☐ A ☐ B ☒ C ☐ D
49. ☐ A ☒ B ☐ C ☐ D
50. ☐ A ☐ B ☒ C ☐ D

Set - 13

1. (A) (●) (C) (D)
2. (A) (B) (●) (D)
3. (A) (B) (●) (D)
4. (A) (B) (C) (●)
5. (A) (B) (●) (D)
6. (●) (B) (C) (D)
7. (A) (B) (C) (●)
8. (A) (B) (●) (D)
9. (●) (B) (C) (D)
10. (A) (●) (C) (D)
11. (A) (●) (C) (D)
12. (A) (●) (C) (D)
13. (A) (●) (C) (D)
14. (●) (B) (C) (D)
15. (●) (B) (C) (D)
16. (A) (B) (●) (D)
17. (A) (●) (C) (D)
18. (●) (B) (C) (D)
19. (A) (●) (C) (D)
20. (A) (●) (C) (D)
21. (●) (B) (C) (D)
22. (A) (●) (C) (D)
23. (●) (B) (C) (D)
24. (A) (B) (●) (D)
25. (●) (B) (C) (D)

26. (A) (●) (C) (D)
27. (●) (B) (C) (D)
28. (●) (B) (C) (D)
29. (A) (B) (●) (D)
30. (A) (B) (C) (●)
31. (●) (B) (C) (D)
32. (A) (B) (●) (D)
33. (●) (B) (C) (D)
34. (●) (B) (C) (D)
35. (●) (B) (C) (D)
36. (A) (B) (●) (D)
37. (A) (B) (C) (●)
38. (A) (B) (C) (●)
39. (A) (●) (C) (D)
40. (A) (B) (C) (●)
41. (A) (●) (C) (D)
42. (A) (●) (C) (D)
43. (A) (B) (C) (●)
44. (●) (B) (C) (D)
45. (A) (B) (●) (D)
46. (A) (B) (C) (●)
47. (●) (B) (C) (D)
48. (A) (B) (●) (D)
49. (A) (B) (C) (●)
50. (A) (B) (●) (D)

Set - 14

1. ☒ ☐ B ☐ C ☐ D
2. ☒ ☐ B ☐ C ☐ D
3. ☐ A ☐ B ☒ ☒
4. ☒ ☒ ☐ C ☐ D
5. ☒ ☐ B ☐ C ☐ D
6. ☐ A ☐ B ☒ ☐ D
7. ☐ A ☒ ☐ C ☐ D
8. ☐ A ☐ B ☒ ☐ D
9. ☐ A ☐ B ☒ ☐ D
10. ☐ A ☐ B ☒ ☐ D
11. ☐ A ☒ ☐ C ☒
12. ☐ A ☒ ☐ C ☐ D
13. ☒ ☐ B ☐ C ☐ D
14. ☐ A ☒ ☐ C ☐ D
15. ☐ A ☐ B ☒ ☐ D
16. ☐ A ☒ ☐ C ☐ D
17. ☐ A ☐ B ☐ C ☒
18. ☐ A ☐ B ☐ C ☒
19. ☐ A ☐ B ☒ ☐ D
20. ☐ A ☒ ☐ C ☐ D
21. ☐ A ☒ ☐ C ☐ D
22. ☒ ☐ B ☐ C ☐ D
23. ☒ ☐ B ☐ C ☐ D
24. ☐ A ☐ B ☐ C ☒
25. ☒ ☐ B ☐ C ☐ D

26. ☒ ☐ B ☐ C ☐ D
27. ☐ A ☐ B ☒ ☐ D
28. ☒ ☐ B ☐ C ☐ D
29. ☐ A ☒ ☐ C ☐ D
30. ☐ A ☐ B ☐ C ☒
31. ☐ A ☒ ☒ ☐ D
32. ☒ ☐ B ☐ C ☐ D
33. ☒ ☐ B ☐ C ☐ D
34. ☐ A ☐ B ☒ ☒
35. ☒ ☐ B ☐ C ☐ D
36. ☐ A ☐ B ☒ ☐ D
37. ☒ ☐ B ☐ C ☐ D
38. ☒ ☐ B ☐ C ☐ D
39. ☐ A ☐ B ☒ ☐ D
40. ☐ A ☒ ☐ C ☐ D
41. ☐ A ☒ ☐ C ☐ D
42. ☐ A ☒ ☐ C ☐ D
43. ☒ ☐ B ☐ C ☐ D
44. ☐ A ☐ B ☐ C ☒
45. ☒ ☐ B ☐ C ☐ D
46. ☐ A ☐ B ☐ C ☒
47. ☒ ☐ B ☐ C ☐ D
48. ☐ A ☒ ☐ C ☐ D
49. ☒ ☐ B ☐ C ☐ D
50. ☒ ☐ B ☐ C ☐ D

Set - 15

- | | | | | |
|-----|----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|
| 1. | <input type="radio"/> A | <input type="radio"/> B | <input type="radio"/> C | <input checked="" type="radio"/> |
| 2. | <input type="radio"/> A | <input checked="" type="radio"/> | <input type="radio"/> C | <input type="radio"/> D |
| 3. | <input checked="" type="radio"/> | <input type="radio"/> B | <input type="radio"/> C | <input type="radio"/> D |
| 4. | <input checked="" type="radio"/> | <input type="radio"/> B | <input type="radio"/> C | <input type="radio"/> D |
| 5. | <input type="radio"/> A | <input checked="" type="radio"/> | <input type="radio"/> C | <input type="radio"/> D |
| 6. | <input type="radio"/> A | <input type="radio"/> B | <input checked="" type="radio"/> | <input type="radio"/> D |
| 7. | <input type="radio"/> A | <input checked="" type="radio"/> | <input type="radio"/> C | <input type="radio"/> D |
| 8. | <input type="radio"/> A | <input checked="" type="radio"/> | <input type="radio"/> C | <input type="radio"/> D |
| 9. | <input type="radio"/> A | <input checked="" type="radio"/> | <input type="radio"/> C | <input type="radio"/> D |
| 10. | <input checked="" type="radio"/> | <input type="radio"/> B | <input type="radio"/> C | <input type="radio"/> D |
| 11. | <input type="radio"/> A | <input type="radio"/> B | <input checked="" type="radio"/> | <input type="radio"/> D |
| 12. | <input checked="" type="radio"/> | <input type="radio"/> B | <input type="radio"/> C | <input type="radio"/> D |
| 13. | <input type="radio"/> A | <input type="radio"/> B | <input type="radio"/> C | <input checked="" type="radio"/> |
| 14. | <input checked="" type="radio"/> | <input type="radio"/> B | <input type="radio"/> C | <input type="radio"/> D |
| 15. | <input checked="" type="radio"/> | <input type="radio"/> B | <input type="radio"/> C | <input type="radio"/> D |
| 16. | <input type="radio"/> A | <input checked="" type="radio"/> | <input type="radio"/> C | <input type="radio"/> D |
| 17. | <input type="radio"/> A | <input type="radio"/> B | <input type="radio"/> C | <input checked="" type="radio"/> |
| 18. | <input type="radio"/> A | <input checked="" type="radio"/> | <input type="radio"/> C | <input type="radio"/> D |
| 19. | <input type="radio"/> A | <input type="radio"/> B | <input type="radio"/> C | <input checked="" type="radio"/> |
| 20. | <input type="radio"/> A | <input type="radio"/> B | <input checked="" type="radio"/> | <input type="radio"/> D |
| 21. | <input type="radio"/> A | <input type="radio"/> B | <input type="radio"/> C | <input checked="" type="radio"/> |
| 22. | <input type="radio"/> A | <input type="radio"/> B | <input checked="" type="radio"/> | <input type="radio"/> D |
| 23. | <input checked="" type="radio"/> | <input type="radio"/> B | <input type="radio"/> C | <input type="radio"/> D |
| 24. | <input type="radio"/> A | <input checked="" type="radio"/> | <input type="radio"/> C | <input type="radio"/> D |
| 25. | <input type="radio"/> A | <input checked="" type="radio"/> | <input type="radio"/> C | <input type="radio"/> D |
| 26. | <input type="radio"/> A | <input checked="" type="radio"/> | <input type="radio"/> C | <input type="radio"/> D |
| 27. | <input type="radio"/> A | <input checked="" type="radio"/> | <input type="radio"/> C | <input type="radio"/> D |
| 28. | <input type="radio"/> A | <input type="radio"/> B | <input checked="" type="radio"/> | <input type="radio"/> D |
| 29. | <input checked="" type="radio"/> | <input type="radio"/> B | <input type="radio"/> C | <input type="radio"/> D |
| 30. | <input type="radio"/> A | <input type="radio"/> B | <input checked="" type="radio"/> | <input type="radio"/> D |
| 31. | <input checked="" type="radio"/> | <input type="radio"/> B | <input type="radio"/> C | <input type="radio"/> D |
| 32. | <input checked="" type="radio"/> | <input type="radio"/> B | <input type="radio"/> C | <input type="radio"/> D |
| 33. | <input type="radio"/> A | <input checked="" type="radio"/> | <input type="radio"/> C | <input type="radio"/> D |
| 34. | <input type="radio"/> A | <input checked="" type="radio"/> | <input type="radio"/> C | <input type="radio"/> D |
| 35. | <input type="radio"/> A | <input type="radio"/> B | <input type="radio"/> C | <input checked="" type="radio"/> |
| 36. | <input type="radio"/> A | <input checked="" type="radio"/> | <input type="radio"/> C | <input type="radio"/> D |
| 37. | <input type="radio"/> A | <input type="radio"/> B | <input type="radio"/> C | <input checked="" type="radio"/> |
| 38. | <input type="radio"/> A | <input checked="" type="radio"/> | <input type="radio"/> C | <input type="radio"/> D |
| 39. | <input checked="" type="radio"/> | <input type="radio"/> B | <input type="radio"/> C | <input type="radio"/> D |
| 40. | <input checked="" type="radio"/> | <input type="radio"/> B | <input type="radio"/> C | <input type="radio"/> D |
| 41. | <input checked="" type="radio"/> | <input type="radio"/> B | <input type="radio"/> C | <input type="radio"/> D |
| 42. | <input type="radio"/> A | <input checked="" type="radio"/> | <input type="radio"/> C | <input type="radio"/> D |
| 43. | <input type="radio"/> A | <input type="radio"/> B | <input checked="" type="radio"/> | <input type="radio"/> D |
| 44. | <input type="radio"/> A | <input type="radio"/> B | <input type="radio"/> C | <input checked="" type="radio"/> |
| 45. | <input type="radio"/> A | <input type="radio"/> B | <input type="radio"/> C | <input checked="" type="radio"/> |
| 46. | <input type="radio"/> A | <input type="radio"/> B | <input type="radio"/> C | <input checked="" type="radio"/> |
| 47. | <input type="radio"/> A | <input type="radio"/> B | <input checked="" type="radio"/> | <input type="radio"/> D |
| 48. | <input type="radio"/> A | <input type="radio"/> B | <input checked="" type="radio"/> | <input type="radio"/> D |
| 49. | <input type="radio"/> A | <input checked="" type="radio"/> | <input type="radio"/> C | <input type="radio"/> D |
| 50. | <input type="radio"/> A | <input checked="" type="radio"/> | <input type="radio"/> C | <input type="radio"/> D |

Set - 16

1. ☐ A ☐ B ☒ C ☐ D
2. ☐ A ☒ B ☐ C ☐ D
3. ☐ A ☐ B ☐ C ☒ D
4. ☐ A ☒ B ☐ C ☐ D
5. ☒ A ☐ B ☐ C ☐ D
6. ☐ A ☒ B ☐ C ☐ D
7. ☒ A ☐ B ☐ C ☐ D
8. ☐ A ☐ B ☐ C ☒ D
9. ☒ A ☐ B ☐ C ☐ D
10. ☐ A ☒ B ☐ C ☐ D
11. ☐ A ☐ B ☒ C ☐ D
12. ☒ A ☐ B ☐ C ☐ D
13. ☒ A ☐ B ☐ C ☐ D
14. ☐ A ☐ B ☐ C ☒ D
15. ☐ A ☐ B ☒ C ☐ D
16. ☒ A ☐ B ☐ C ☐ D
17. ☐ A ☐ B ☒ C ☐ D
18. ☐ A ☒ B ☐ C ☐ D
19. ☒ A ☐ B ☐ C ☐ D
20. ☐ A ☐ B ☐ C ☒ D
21. ☒ A ☐ B ☐ C ☐ D
22. ☐ A ☐ B ☐ C ☒ D
23. ☐ A ☒ B ☐ C ☐ D
24. ☐ A ☒ B ☐ C ☐ D
25. ☒ A ☐ B ☐ C ☐ D

26. ☐ A ☐ B ☒ C ☐ D
27. ☐ A ☐ B ☐ C ☒ D
28. ☒ A ☐ B ☐ C ☐ D
29. ☐ A ☒ B ☐ C ☐ D
30. ☒ A ☐ B ☐ C ☐ D
31. ☐ A ☐ B ☒ C ☐ D
32. ☐ A ☐ B ☒ C ☐ D
33. ☐ A ☐ B ☐ C ☒ D
34. ☐ A ☐ B ☒ C ☐ D
35. ☐ A ☐ B ☐ C ☒ D
36. ☒ A ☐ B ☐ C ☐ D
37. ☐ A ☐ B ☒ C ☐ D
38. ☐ A ☒ B ☐ C ☐ D
39. ☐ A ☐ B ☐ C ☒ D
40. ☐ A ☐ B ☒ C ☐ D
41. ☐ A ☐ B ☐ C ☒ D
42. ☐ A ☒ B ☐ C ☐ D
43. ☒ A ☐ B ☐ C ☐ D
44. ☒ A ☐ B ☐ C ☐ D
45. ☐ A ☒ B ☐ C ☐ D
46. ☐ A ☐ B ☒ C ☐ D
47. ☒ A ☐ B ☐ C ☐ D
48. ☒ A ☐ B ☐ C ☐ D
49. ☐ A ☒ B ☐ C ☐ D
50. ☐ A ☐ B ☒ C ☐ D

Set - 17

1. ☐ A ☒ B ☐ C ☐ D
2. ☐ A ☒ B ☐ C ☐ D
3. ☐ A ☒ B ☐ C ☐ D
4. ☒ A ☐ B ☐ C ☐ D
5. ☐ A ☒ B ☐ C ☐ D
6. ☐ A ☒ B ☐ C ☐ D
7. ☐ A ☒ B ☐ C ☐ D
8. ☐ A ☒ B ☐ C ☐ D
9. ☐ A ☒ B ☐ C ☐ D
10. ☐ A ☒ B ☐ C ☐ D
11. ☐ A ☒ B ☐ C ☐ D
12. ☐ A ☒ B ☐ C ☐ D
13. ☒ A ☐ B ☐ C ☐ D
14. ☒ A ☐ B ☐ C ☐ D
15. ☐ A ☐ B ☐ C ☒ D
16. ☒ A ☐ B ☐ C ☐ D
17. ☐ A ☐ B ☐ C ☒ D
18. ☐ A ☐ B ☒ C ☐ D
19. ☐ A ☐ B ☐ C ☒ D
20. ☐ A ☒ B ☐ C ☐ D
21. ☐ A ☒ B ☐ C ☐ D
22. ☐ A ☐ B ☒ C ☐ D
23. ☐ A ☐ B ☒ C ☒ D
24. ☐ A ☒ B ☐ C ☐ D
25. ☐ A ☒ B ☐ C ☐ D

26. ☒ A ☐ B ☐ C ☐ D
27. ☐ A ☒ B ☐ C ☐ D
28. ☐ A ☐ B ☐ C ☒ D
29. ☐ A ☒ B ☐ C ☐ D
30. ☐ A ☒ B ☐ C ☐ D
31. ☐ A ☐ B ☐ C ☒ D
32. ☒ A ☐ B ☐ C ☐ D
33. ☐ A ☐ B ☐ C ☒ D
34. ☐ A ☐ B ☒ C ☐ D
35. ☒ A ☐ B ☐ C ☐ D
36. ☐ A ☐ B ☒ C ☐ D
37. ☒ A ☐ B ☐ C ☐ D
38. ☐ A ☒ B ☐ C ☐ D
39. ☒ A ☒ B ☒ C ☐ D
40. ☐ A ☐ B ☒ C ☐ D
41. ☐ A ☒ B ☐ C ☐ D
42. ☒ A ☐ B ☐ C ☐ D
43. ☐ A ☒ B ☐ C ☒ D
44. ☐ A ☒ B ☒ C ☐ D
45. ☒ A ☐ B ☐ C ☐ D
46. ☐ A ☒ B ☐ C ☐ D
47. ☐ A ☐ B ☐ C ☒ D
48. ☒ A ☐ B ☐ C ☐ D
49. ☒ A ☐ B ☐ C ☐ D
50. ☐ A ☒ B ☐ C ☐ D

Set - 18

1. ☒ A ☐ B ☐ C ☐ D
2. ☐ A ☒ B ☐ C ☐ D
3. ☒ A ☐ B ☐ C ☐ D
4. ☒ A ☐ B ☐ C ☐ D
5. ☒ A ☐ B ☐ C ☐ D
6. ☒ A ☐ B ☐ C ☐ D
7. ☒ A ☐ B ☐ C ☐ D
8. ☒ A ☐ B ☐ C ☐ D
9. ☐ A ☒ B ☐ C ☐ D
10. ☒ A ☐ B ☐ C ☐ D
11. ☐ A ☐ B ☒ C ☒ D
12. ☐ A ☒ B ☐ C ☐ D
13. ☐ A ☐ B ☐ C ☒ D
14. ☐ A ☐ B ☒ C ☐ D
15. ☐ A ☒ B ☐ C ☐ D
16. ☐ A ☐ B ☐ C ☒ D
17. ☐ A ☐ B ☒ C ☐ D
18. ☐ A ☐ B ☒ C ☐ D
19. ☐ A ☐ B ☒ C ☐ D
20. ☐ A ☐ B ☒ C ☐ D
21. ☒ A ☐ B ☐ C ☐ D
22. ☐ A ☐ B ☐ C ☒ D
23. ☐ A ☐ B ☒ C ☐ D
24. ☐ A ☒ B ☐ C ☐ D
25. ☐ A ☐ B ☒ C ☐ D

26. ☐ A ☒ B ☒ C ☐ D
27. ☒ A ☐ B ☐ C ☐ D
28. ☐ A ☒ B ☐ C ☐ D
29. ☐ A ☐ B ☐ C ☒ D
30. ☒ A ☐ B ☐ C ☐ D
31. ☐ A ☒ B ☐ C ☐ D
32. ☐ A ☒ B ☒ C ☐ D
33. ☐ A ☒ B ☐ C ☐ D
34. ☐ A ☐ B ☒ C ☐ D
35. ☐ A ☒ B ☐ C ☐ D
36. ☐ A ☒ B ☐ C ☐ D
37. ☐ A ☐ B ☒ C ☐ D
38. ☐ A ☐ B ☐ C ☒ D
39. ☐ A ☐ B ☒ C ☐ D
40. ☐ A ☐ B ☒ C ☐ D
41. ☐ A ☐ B ☒ C ☐ D
42. ☐ A ☐ B ☒ C ☐ D
43. ☒ A ☒ B ☐ C ☐ D
44. ☒ A ☐ B ☒ C ☐ D
45. ☐ A ☐ B ☒ C ☐ D
46. ☒ A ☐ B ☐ C ☐ D
47. ☐ A ☐ B ☐ C ☒ D
48. ☐ A ☐ B ☐ C ☒ D
49. ☒ A ☐ B ☐ C ☐ D
50. ☒ A ☐ B ☐ C ☐ D

Set - 19

1. ☐ A ☒ ☐ C ☐ D
2. ☐ A ☒ ☐ C ☐ D
3. ☐ A ☒ ☐ C ☐ D
4. ☐ A ☐ B ☒ ☐ D
5. ☐ A ☒ ☐ C ☐ D
6. ☐ A ☐ B ☒ ☐ D
7. ☐ A ☐ B ☒ ☐ D
8. ☒ ☐ B ☐ C ☐ D
9. ☒ ☐ B ☐ C ☐ D
10. ☐ A ☒ ☐ C ☐ D
11. ☐ A ☐ B ☒ ☐ D
12. ☒ ☐ B ☐ C ☐ D
13. ☐ A ☒ ☐ C ☐ D
14. ☐ A ☒ ☐ C ☐ D
15. ☒ ☐ B ☐ C ☐ D
16. ☒ ☐ B ☐ C ☐ D
17. ☐ A ☒ ☐ C ☐ D
18. ☐ A ☐ B ☒ ☐ D
19. ☐ A ☒ ☐ C ☐ D
20. ☐ A ☐ B ☒ ☐ D
21. ☐ A ☐ B ☒ ☐ D
22. ☐ A ☐ B ☐ C ☒ ☐ D
23. ☐ A ☒ ☐ C ☐ D
24. ☐ A ☐ B ☒ ☐ D
25. ☐ A ☒ ☐ C ☐ D

26. ☒ ☐ B ☐ C ☐ D
27. ☐ A ☒ ☐ C ☐ D
28. ☒ ☐ B ☐ C ☐ D
29. ☒ ☐ B ☐ C ☐ D
30. ☒ ☐ B ☐ C ☐ D
31. ☐ A ☒ ☐ C ☐ D
32. ☒ ☐ B ☐ C ☒ ☐ D
33. ☒ ☒ ☐ C ☐ D
34. ☐ A ☐ B ☐ C ☒ ☐ D
35. ☐ A ☒ ☐ C ☒ ☐ D
36. ☐ A ☐ B ☐ C ☒ ☐ D
37. ☒ ☒ ☐ C ☐ D
38. ☐ A ☒ ☐ C ☐ D
39. ☐ A ☒ ☐ C ☐ D
40. ☐ A ☐ B ☒ ☐ D
41. ☒ ☐ B ☐ C ☐ D
42. ☒ ☐ B ☐ C ☐ D
43. ☐ A ☐ B ☒ ☐ D
44. ☐ A ☒ ☐ C ☐ D
45. ☐ A ☐ B ☒ ☐ D
46. ☐ A ☐ B ☐ C ☒ ☐ D
47. ☐ A ☐ B ☒ ☐ D
48. ☐ A ☒ ☐ C ☐ D
49. ☒ ☐ B ☐ C ☐ D
50. ☐ A ☐ B ☒ ☐ D

Set - 20

1. (A) (B) (C) (D)
2. (A) (B) (C) (D)
3. (A) (B) (C) (D)
4. (A) (B) (C) (D)
5. (A) (B) (C) (D)
6. (A) (B) (C) (D)
7. (A) (B) (C) (D)
8. (A) (B) (C) (D)
9. (A) (B) (C) (D)
10. (A) (B) (C) (D)
11. (A) (B) (C) (D)
12. (A) (B) (C) (D)
13. (A) (B) (C) (D)
14. (A) (B) (C) (D)
15. (A) (B) (C) (D)
16. (A) (B) (C) (D)
17. (A) (B) (C) (D)
18. (A) (B) (C) (D)
19. (A) (B) (C) (D)
20. (A) (B) (C) (D)
21. (A) (B) (C) (D)
22. (A) (B) (C) (D)
23. (A) (B) (C) (D)
24. (A) (B) (C) (D)
25. (A) (B) (C) (D)

26. (A) (B) (C) (D)
27. (A) (B) (C) (D)
28. (A) (B) (C) (D)
29. (A) (B) (C) (D)
30. (A) (B) (C) (D)
31. (A) (B) (C) (D)
32. (A) (B) (C) (D)
33. (A) (B) (C) (D)
34. (A) (B) (C) (D)
35. (A) (B) (C) (D)
36. (A) (B) (C) (D)
37. (A) (B) (C) (D)
38. (A) (B) (C) (D)
39. (A) (B) (C) (D)
40. (A) (B) (C) (D)
41. (A) (B) (C) (D)
42. (A) (B) (C) (D)
43. (A) (B) (C) (D)
44. (A) (B) (C) (D)
45. (A) (B) (C) (D)
46. (A) (B) (C) (D)
47. (A) (B) (C) (D)
48. (A) (B) (C) (D)
49. (A) (B) (C) (D)
50. (A) (B) (C) (D)



Book Syndicate (P) Ltd.

Kolkata

1 2201